

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
Área de Concentração Transportes

GELSON JUNIOR DONATTI SCHIMITH BERGER

**MODELO MATEMÁTICO PARA ROTEIRIZAÇÃO DE FROTA
HETEROGÊNEA DE AMBULÂNCIAS COM PRIORIZAÇÃO DE
GRUPOS DE PACIENTES**

VITÓRIA

2018

GELSON JUNIOR DONATTI SCHIMITH BERGER

**MODELO MATEMÁTICO PARA ROTEIRIZAÇÃO DE FROTA
HETEROGÊNEA DE AMBULÂNCIAS COM PRIORIZAÇÃO DE
GRUPOS DE PACIENTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração em Transportes.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Patrícia Alcântara Cardoso.

VITÓRIA

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

B496m Berger, Gelson Junior Donatti Schimith, 1991-
Modelo matemático para roteirização de frota heterogênea
de ambulâncias com priorização de grupos de pacientes / Gelson
Junior Donatti Schimith Berger. – 2018.
72 f. : il.

Orientador: Patrícia Alcântara Cardoso.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Emergências médicas – Vitória, Região Metropolitana de
(ES). 2. Serviço de ambulância – Levantamentos de rotas.
3. Serviços médicos de emergência. 4. Programação inteira.
5. Modelagem matemática. 6. Serviço de Atendimento Móvel de
Urgência (SAMU). I. Cardoso, Patrícia Alcântara. II. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Modelo Matemático para Roteirização de Frota Heterogênea de Ambulâncias com Priorização de Grupos de Pacientes

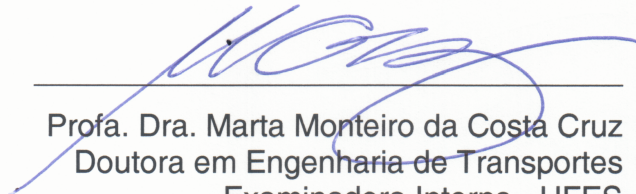
Gelson Junior Donatti Schimith Berger

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Transportes.

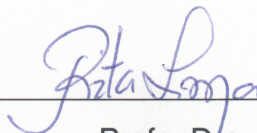
Aprovada no dia **25 de abril de 2018** por:



Prof. Dra. Patrícia Alcântara Cardoso
Doutora em Engenharia de Produção
Orientadora - UFES



Prof. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz
Doutora em Engenharia de Transportes
Examinadora Interna - UFES



Prof. Dra. Rita de Cássia Lima
Doutora em Saúde Coletiva
Examinadora Externa - UFES

Ao meus pais por me proporcionar todas as condições para esse momento.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe e ao meu pai que me apoiaram incondicionalmente em todas as etapas e decisões da minha vida.

A minha orientadora Profa. Patrícia Alcântara Cardoso, pela paciência e compreensão durante todos os percalços do caminho.

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Ensino do Espírito Santo (FAPES) pelo apoio financeiro do projeto de pesquisa.

A Profa. Marta Monteiro da Costa Cruz, pelos 7 anos de convivência, ensinamentos e aprendizado em diversos projetos não apenas acadêmicos, mas também pessoais.

Aos funcionários da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, Sidney e Ingrid pelos diversos momentos de descontração e diversão que deixavam os dias mais leves.

Aos demais professores do PPGEC pelos diversos ensinamentos.

Ao meu amigo Diego por ouvir, incansavelmente e incessantemente, horas e horas das minhas reclamações e frustrações.

A todos, que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

“Nada como procurar quando se quer achar alguma coisa. Quando se procura geralmente se encontra alguma coisa, sem dúvida, mas nem sempre o que estávamos procurando.”

J. R. R. Tolkien

RESUMO

O atendimento de emergências médicas envolve diversos fatores, com altos graus de incerteza. As decisões têm que ser obtidas de forma rápida e com alta qualidade. Dentro do aspecto operacional, a decisão de qual rota uma ambulância deve tomar para chegar ao local de atendimento de uma vítima no menor tempo possível pode ser crucial para a sobrevivência do paciente. Foi utilizada a metodologia *ProKnow-C* para realizar uma seleção do portfólio bibliográfico e uma análise da literatura do Problema da Roteirização de Ambulâncias (PRA). Foi identificado que havia uma lacuna na literatura para modelos matemáticos de minimização do tempo de atendimento de dois grupos de pacientes que são atendidos por uma frota heterogênea de ambulâncias. Um modelo de otimização foi proposto, utilizando Programação Inteira Mista, e implementado usando o *software* de otimização *CPlex Optimization Studio* 12.7.1. Foi proposto um estudo de caso no SAMU da Grande Vitória, onde foram obtidos os parâmetros para execução do modelo. Foram executados 243 cenários e os resultados obtidos permitiram identificar que o aumento do número total de ambulâncias no sistema gera um impacto positivo nos tempos de atendimento de ambos grupos de chamados, assim como o aumento do número de ambulâncias capacitadas para atender todos tipos de acidentes. Entretanto, o aumento do número de chamados de pacientes de maior gravidade faz com que o tempo de atendimento para esse grupo seja maior e reduz o tempo de atendimento do grupo de menor gravidade. Em relação ao tempo de execução do modelo, os valores encontrados não foram satisfatórios, considerando que a rapidez é essencial para esse tipo de serviço.

Palavras-chave: Problema de Roteirização de Ambulâncias; Serviços de Emergências Médicas; Serviço de Atendimento Móvel de Urgência; Programação Inteira Mista;

ABSTRACT

Assisting medical emergencies involve several factors, with high levels of uncertainty. Decisions must be made with high quality and as quickly as possible. Within the operational aspect, the decision about which route an ambulance should take to make it in the shortest time possible at the victim's place of care can be crucial for the survivor of the patient. The *ProKnow-C* methodology was used to carry out a selection of the bibliographic portfolio and an analysis of the literature on the Ambulance Routing Problem (ARP). It was identified that there was a gap in the literature for mathematical models on minimizing the time of care of two groups of patients that are served by a heterogeneous fleet of ambulances. An optimization model was proposed using Mixed Integer Programming and implemented using *CPlex Optimization Studio* 12.7.1 solver software. A case study was proposed in Grande Vitória's SAMU, where the parameters to run the model were obtained. A total of 243 scenarios were run and the results obtained allowed to identify that the increase in the total amount of ambulances in the system generates a positive impact in the care service time of both patient groups, as well as the increase in the number of ambulances qualified to attend all types of accidents. However, the increase in the number of calls of greater severity patients makes the time of care for this group higher and reduces the time of care of the lower clinical severity group. Regarding the model's computational time, the values found were unsatisfactory, considering that speed is essential for this type of service.

Keywords: Ambulance Routing Problem; Medical Emergency Services; Emergency Mobile Care Service; Mixed Integer Programming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Cadeia de Decisões em Serviços de Emergências Médicas	16
Figura 2 - Etapas para Seleção do Portfólio Bibliográfico orientadas pelo ProKnow-C	21
Figura 3 - Classificação da Pesquisa Científica	30
Figura 4 - Fases da Metodologia da Pesquisa	31
Figura 5 - Regiões de Saúde no Estado do Espírito Santo	43
Figura 6 - Localização dos hospitais da rede pública estadual no município de Vitória	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetro de entrada do "Número de Chamados" e do "Número de Ambulâncias"	45
Tabela 2 - Variações dos pesos avaliados nas instâncias	50
Tabela 3 - Resultados obtidos na execução das instâncias	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Portfólio bibliográfico selecionado para o Problema da Roteirização de Ambulâncias.....	29
Quadro 2 - Notação usada para modelar o problema de roteirização de ambulâncias	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Impacto da variação do "Número de Ambulâncias" para número "Baixo" de chamados.....	53
Gráfico 2 - Impacto da variação do "Número de Ambulâncias" para número "Médio" de chamados.....	53
Gráfico 3 - Impacto da variação do "Número de Ambulâncias" para número "Alto" de chamados.....	54
Gráfico 4 - Impacto da variação do "Proporção chamados código vermelho" para número "Baixo" de chamados	55
Gráfico 5 - Impacto da variação do "Proporção chamados código vermelho" para número "Médio" de chamados	55
Gráfico 6 - Impacto da variação do "Proporção chamados código vermelho" para número "Alto" de chamados	56
Gráfico 7 - Impacto da variação da "Proporção de chamados código vermelho" no tempo de execução do modelo para número "Baixo" de chamados	56
Gráfico 8 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" para número "Baixo" de chamados	57
Gráfico 9 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" para número "Médio" de chamados	58
Gráfico 10 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" para número "Alto" de chamados	58
Gráfico 11 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" no tempo de execução do modelo para número "Baixo" de chamados	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HINSG	Hospital Infantil Nossa Senhora da Glória
HPM	Hospital da Polícia Militar
HSL	Hospital São Lucas
MIP	Programação Inteira Mista
PRA	Problema da Roteirização de Ambulâncias
PRDV	Problema da Roteirização Dinâmica de Veículos
Pro-KnowC	<i>Knowledge Development Process-Constructivist</i>
PRV	Problema da Roteirização de Veículos
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SEM	Serviços de Emergências Médicas
SUS	Sistema Único de Saúde
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. Objetivo Geral.....	18
1.2.2. Objetivo Específicos	18
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1. O SAMU COMO POLÍTICA DE SAÚDE PÚBLICA.....	22
2.2. O PROBLEMA DA ROTEIRIZAÇÃO DE AMBULÂNCIAS.....	23
3. METODOLOGIA DE TRABALHO	30
3.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO DE PESQUISA	30
3.2. ETAPAS METODOLÓGICAS DA PESQUISA.....	31
4. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO.....	34
4.1. INSTÂNCIAS DE TESTE DO MODELO	40
5. O SAMU DA REGIÃO METROPOLITANA DE SAÚDE DA GRANDE VITÓRIA.....	42
5.1. NÚMERO TOTAL DE CHAMADOS E DE AMBULÂNCIAS.....	44
5.2. TEMPOS DE VIAGEM.....	46
5.3. TEMPO DE SERVIÇO NO CHAMADO	47
5.4. CONJUNTO DE HOSPITAIS.....	47
5.5. DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS DE EXECUÇÃO DO MODELO	49
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
APÊNDICE A – CENÁRIOS DE EXECUÇÃO DO MODELOS.....	69
APÊNCIDE B – RESULTADOS DOS CENÁRIOS	70
ANEXO A – REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA.....	72

1. INTRODUÇÃO

Criado em 2003 pelo Ministério da Saúde, a Política Nacional de Atenção às Urgências implantou uma ampla rede de atendimento com a finalidade de prestar socorro pré-hospitalar à população em casos de emergência. Com a Portaria nº 1.864 de 29 de setembro de 2003, foi definida as diretrizes para implementação dos Serviços de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) em todo o país. O modelo do serviço seguiu os moldes do *Service d'Aide Médicale Urgente*, existente na França desde 1986. O primeiro SAMU implantado no Brasil foi na cidade de Campinas, através do médico coordenador José Roberto Hansen. (O'Dwyer, 2013)

O SAMU atende a três objetivos: atendimento para casos clínicos, a regulação do sistema de vagas de urgência e emergência em hospitais secundários e terciários por uma central 24h e educação em urgência e emergência. No caso de atendimentos para casos clínicos, prestar um socorro rápido e eficiente a vítimas é essencial para reduzir a quantidade de sequelas, proporcionar recuperação mais rápida e, principalmente, reduzir o número de óbitos (Datusus, 2010).

Para operação, o serviço do SAMU utiliza ambulâncias de diversos tipos. No geral, as mais utilizadas são (Brasil, 2002):

- Ambulâncias de Suporte Básico: destinado ao transporte inter-hospitalar de pacientes com risco de vida conhecido e ao atendimento pré-hospitalar de pacientes com risco de vida desconhecido, não classificado com potencial de necessitar de intervenção médica no local e/ou durante transporte até o serviço de destino, e as
- Ambulância de Suporte Avançado: destinado ao atendimento e transporte de pacientes de alto risco em emergências pré-hospitalares e/ou de transporte inter-hospitalar que necessitam de cuidados médicos intensivos. Deve contar com os equipamentos médicos necessários para esta função.

Para esse trabalho, doravante denominaremos as Ambulância de Suporte Avançado de Ambulâncias Capacitadas.

Diversos autores estudaram a relação entre o tempo de espera de atendimento e a probabilidade de sobrevivência. Cummings (1989) concluiu que, para cada minuto de atrasado no resgate de vítimas de parada cardíaca, a chance de sobrevivência diminui 7-10%. Em um estudo anterior, Cummins *et al.* (1984) constatou que para uma vítima de parada cardíaca, o procedimento de ressuscitação cardiopulmonar for realizado dentro de 5 minutos após a parada e a desfibrilação em até 10 minutos, a chance de sobrevivência é de 30%, caso contrário, as chances caem para 7%.

O processo de tomada de decisão é muito importante no contexto do Serviço de Emergências Médicas (SEM). As decisões tomadas impactarão diretamente na qualidade do serviço bem como os custos operacionais Kergosien *et al.* (2015).

Serviços emergenciais apresentam altos graus de incerteza, e quanto maior o grau de incerteza envolvido, maior a necessidade de se obter respostas rápidas. Na Figura 1, podemos observar as diversas decisões que devem ser tomadas após o recebimento de um chamado do serviço: atendentes (reguladores) recebem o chamado e designam uma ambulância para o atendimento (d1). A ambulância aceita o chamado e se desloca para o local do incidente. Nesse momento, há uma decisão de qual rota deve ser tomada para chegar ao local de forma mais rápida (d2). No local, o diagnóstico e o estado do paciente são avaliados (d3) e a se define quais protocolos de atendimentos serão realizados (d4). Caso haja necessidade de remoção do paciente para um hospital, o mesmo é embarcado na ambulância e levado para um hospital adequado (d5). Por fim, define-se qual rota deve ser tomada para a chegada no hospital (d6).

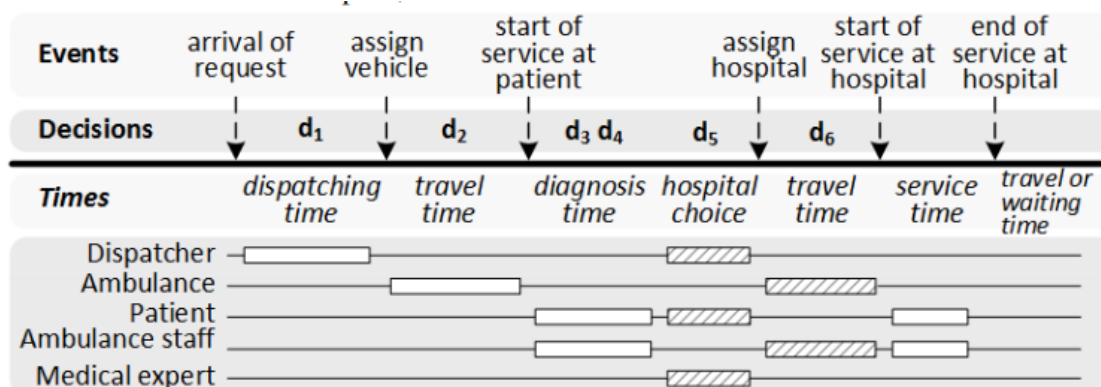


Figura 1 - Cadeia de Decisões em Serviços de Emergências Médicas

Fonte: Francello et.al (2017).

O problema da análise dos serviços de emergência médicas podem ser abordados de diversas maneiras, Destri Junior (2005) constata que o SEM é muito abordado em seu caráter médico em detrimento aos seus aspectos operacionais e gerenciais que, em última instância, são o que garantem a execução do mesmo. Um dos elementos de nível tático/operacional na cadeia de decisões dos SEMs é o despacho e roteirização de ambulâncias, que serão abordados como tema de pesquisa neste trabalho.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Os problemas de roteirização de veículos são estudados desde a década de 50. Diversos modelos, com diferentes contextos e aplicações já foram desenvolvidos desde então. Na ótica de Serviços de Emergências Médicas (SEM), a determinação de rotas para frotas ambulâncias pode ser considerado uma especialização do problema de roteirização de veículos. Assim, o Problema de Roteirização de Ambulâncias (PRA) tem como objetivo encontrar rotas para uma frota de ambulâncias, a fim de atender um conjunto de pacientes.

Após pesquisa da literatura existente, foi observado que o PRA pode ser estudado sob diversos aspectos, sendo mais comum, associado a problemas de alocação e realocação de ambulâncias, cobertura de serviço e políticas de seleção e despacho de ambulâncias.

Dentro do problema das políticas de seleção e despacho de ambulâncias, os aspectos e variáveis mais mencionados são: tempo de viagem e atendimento, distâncias percorridas, histórico das demandas e de tipos de atendimento, conjunto de ambulâncias (tipos, capacidade) e conjuntos de hospitais e/ou pontos de atendimento. Pesquisas mais recentes passaram a estudar aspectos decorrentes de tráfego nas vias.

Diante do exposto, o problema que essa pesquisa busca responder é: quais as características de um modelo matemático para roteirização de uma frota heterogênea de ambulâncias com estabelecimento de priorização de grupos de pacientes que visa o menor tempo de espera por atendimento?

Do ponto de vista prático, os resultados dos estudos podem contribuir na tomada de decisão nos níveis operacional, tático e estratégico, como por exemplo:

- Operacional: qual ambulância da frota deve-se deslocar para o atendimento? Qual tempo ideal de atendimento à vítima no local do acidente? Para qual hospital deve-se transportar a vítima?
- Tático: em quais pontos e em que quantidade deve-se alocar a frota de ambulâncias afim de reduzir tempos de atendimento? Qual desempenho da frota?
- Estratégico: qual o tamanho ideal da frota total de ambulâncias? Quais nível de heterogeneidade (quantos tipos de ambulâncias e quais quantidades de cada tipo) deve apresentar minha frota?

Em relação aos usos teóricos, o projeto contribui para enriquecer a literatura existente sobre o assunto, podendo abordar novas situações, restrições e variáveis para o problema de roteirização de ambulâncias.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. **Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo matemático para roteirização de uma frota heterogênea de ambulâncias com estabelecimento de priorização de grupos de pacientes, que objetive a redução do tempo de espera de atendimento dos pacientes.

1.2.2. **Objetivo Específicos**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Realizar revisão bibliográfica acerca do problema de roteirização de ambulâncias e do serviço móvel de emergências médicas;
- Analisar a eficácia e eficiência do modelo proposto;

- Avaliar, por meio de estudo de caso no Serviço Móvel de Atendimento de Urgência (SAMU) da Grande Vitória, a aplicabilidade do modelo matemático.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado em capítulos. No *Capítulo 1* há uma introdução sobre o tema, foram descritas as motivações, apresentado o problema da pesquisa e os objetivos gerais e específicos. Os capítulos seguintes trazem:

- *Capítulo 2*: uma revisão da literatura do problema de roteirização de ambulâncias, abordando as principais pesquisas e apresentando o estado-da-arte do tema.
- *Capítulo 3*: uma classificação quanto ao tipo de pesquisa e a metodologia de trabalho adotada.
- *Capítulo 4*: apresenta o modelo matemático proposto e suas características e limitações.
- *Capítulo 5*: apresenta as características do estudo de caso desenvolvido no SAMU Grande Vitória e as instâncias de execução do modelo.
- *Capítulo 6*: realiza uma análise e discussão dos resultados obtidos na implementação do modelo.
- *Capítulo 7*: apresenta as considerações finais do trabalho e recomendações para futuras pesquisas sobre o tema.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A roteirização de veículos é um problema clássico dentro do contexto de logística e transportes. Um dos primeiros artigos sobre o Problema de Roteirização de Veículos (PRV) data de 1954, quando Dantzig, Fulkerson e Johnson propuseram um método de solução para o Problema do Caixeiro Viajante, porém apenas nos anos 70 que o PRV passou a ser estudado sob diversas óticas e aplicações, como por exemplo: roteirização de frotas, projetos de redes de transporte, gerenciamento da distribuição de bens, recolhimento de resíduos sólidos, entre outros. Esses primeiros estudos levavam em conta apenas fatores estáticos e determinísticos. Fatores probabilísticos foram introduzidos por Golden e Stewart em 1978. No início dos anos 90, com aumento da capacidade computacional, considerações de fatores dinâmicos se agregaram nos estudos do PRV (Eksioglu *et al.*, 2009).

Surgem, no mesmo período, heurísticas e metaheurísticas que buscavam auxiliar na solução dos PRVs, como a busca tabu, os algoritmos genéticos, colônia de formiga e redes neurais proposto por Gendreau e Potvin (1998). No início dos anos 2000, já era mais comum encontrar na literatura metodologias que abordam soluções para o Problema de Roteirização Dinâmica de Veículos.

Como ferramenta para auxílio de seleção do portfólio bibliográfico e identificação do estado-da-arte sobre o Problema de Roteirização de Ambulâncias, foi utilizado a metodologia *Knowledge Development Process-Constructivist* (ProKnow-C). O ProKnow-C é um processo estruturado, cujo propósito é a geração de conhecimento acerca de um determinado tema, segundo as delimitações do pesquisador (TASCA *et al.*, 2010). As etapas seguidas para selecionar um portfólio bibliográfico relevante sobre o tema estão descritas na Figura 2, adaptada de Valmorbida e Ensslin (2016).

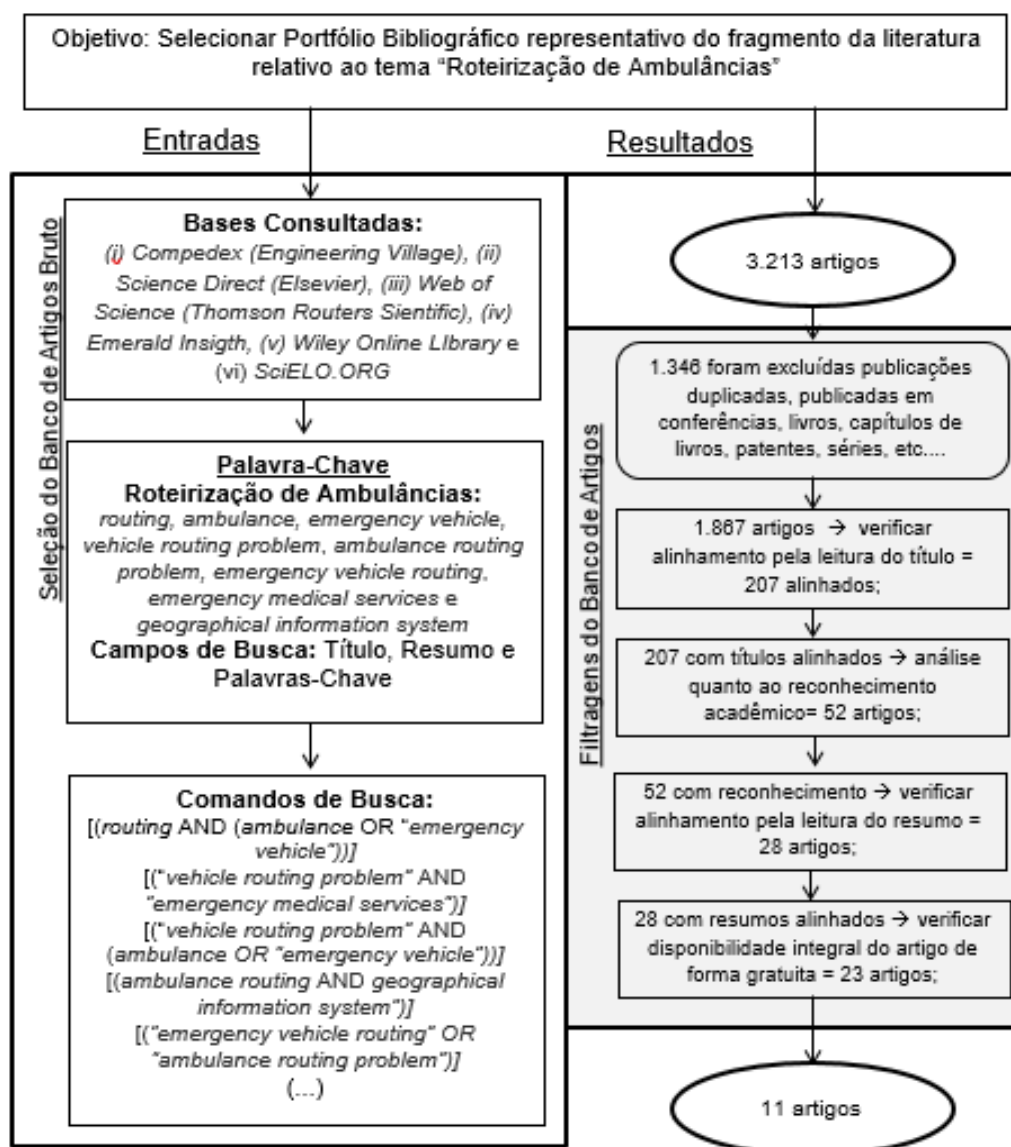


Figura 2 - Etapas para Seleção do Portfólio Bibliográfico orientadas pelo ProKnow-C

Fonte: Elaborada pelo autor. Adaptado de Valmorbidia e Ensslin (2016)

Então, ao final do processo, foram selecionados 11 artigos que compõem o portfólio bibliográfico da pesquisa e, conseqüentemente, o estado da arte do tema. Também foram utilizados artigos que, posteriormente, foram encontrados para complementar a pesquisa, fora do método abordado anteriormente. Destaca-se o trabalho de Fancello *et al.* (2017), importante para definir a característica de heterogeneidade de frota no modelo proposto nesse trabalho.

2.1. O SAMU COMO POLÍTICA DE SAÚDE PÚBLICA

De acordo com Velloso *et.al.* (2008), as políticas públicas são conjuntos de disposições, medidas e procedimentos com a finalidade de orientar a política do Estado e regular as atividades governamentais relacionadas às tarefas de interesse público. Podem ser entendidas como todas as ações de governo, atividades diretas de produção de serviços pelo próprio Estado ou atividades de regulação de outros agentes econômicos.

Após a promulgação da Constituição de 1989, as políticas de saúde no Brasil passaram a ser formuladas no contexto de uma expressiva reforma setorial. As Leis nº 8.080/90 e nº 8.142/90 delegaram aos gestores das três esferas de poder, federal, estadual e municipal, e aos respectivos Conselhos de Saúde a definição de medidas e estratégias necessárias à sua implantação do Sistema Único de Saúde (SUS), desde que sejam resguardadas as diretrizes de universalidade, equidade e integralidade da assistência.

O SUS passou a contar com um importante reforço no atendimento pré-hospitalar com a edição da Portaria nº 1.864, de 29 de setembro de 2003, que instituiu o SAMU e o seu financiamento para investimento e custeio. A implantação desse componente pré-hospitalar móvel previsto na Política Nacional de Atenção às Urgências, assim como de suas centrais de regulação em municípios e regiões de todo o território brasileiro, representou um importante avanço, tendo em vista o quadro de morbimortalidade do Brasil relacionado às urgências, sobretudo, ao aumento do número de acidentes e da violência urbana.

De acordo com Decreto nº 7.508/2012, o SAMU representa uma importante porta de entrada do SUS, por receber diversas demandas emergenciais da população e prestar o atendimento inicial à saúde do usuário. Tal serviço possui abrangência municipal ou regional, dependendo do arranjo organizacional de cada Estado. No que concerne aos aspectos relacionados à sua gestão, ela pode se dar na esfera municipal ou estadual, com o financiamento, predominantemente, feito a partir de incentivos federais e com a possibilidade de coparticipação das demais esferas de governo (Telles *et al.*, 2017).

O Ministério da Saúde tem como premissa que a atenção às urgências no país deve fluir em todos os níveis do SUS, participando na organização desde as Equipes de Saúde da Família na atenção básica até a assistência pós-hospitalar, recuperação e reabilitação. Nesse contexto, o SAMU, com suas Unidades de Suporte Avançado e Suporte Básico de Vida deveriam responder às necessidades da população, oferecendo resposta aos pedidos de auxílio por meio de centrais de regulação médica. Nessa estrutura, o médico regulador tem como função orientar ou deslocar uma equipe com médico e enfermeiro e os equipamentos de uma UTI, estando à liberação de cada recurso vinculada à necessidade de cada paciente.

Assim, o SAMU pode ser considerado uma política pública de saúde que desempenha um papel crucial por possibilitar atendimento precoce às vítimas de agravos à saúde de variada natureza e ordenar o fluxo assistencial.

2.2. O PROBLEMA DA ROTEIRIZAÇÃO DE AMBULÂNCIAS

O Problema de Roteirização de Ambulâncias tem como objetivo encontrar rotas para uma frota de ambulâncias, a fim de dar atender um conjunto de pacientes. Ao longo do tempo, pesquisas estudaram o PRA por diferentes métodos, tais como, simulação, modelagem matemática e métodos estatísticos.

Através da simulação desenvolvida por Haghani *et al.* (2004), se buscou minimizar a média dos tempos de resposta associadas a diferentes tipos de acidentes. O modelo, que utiliza informações de trânsito em tempo real, busca auxiliar os despachantes de veículos de emergência a atribuir vários veículos para incidentes e determinar suas rotas, guiando esses veículos através de rotas não congestionadas.

O modelo buscou representar as preocupações de cobertura da área de serviço (quando vários veículos estão ocupados) por realocação e redistribuição dos veículos restantes entre as estações. Para simular os cenários, o estudo considerou três modalidades distintas de políticas de despacho: (a) Primeiro Chamado Primeiro Servedo, estratégia pressupõe que as chamadas de serviço são atribuídas aos veículos disponíveis na ordem em que os pedidos são recebidos. (b) Atribuição de Origem Mais Próxima, onde solicitações de serviço entram no *pool* de solicitações não atribuídas. Após a conclusão da atribuição, o condutor contata o centro de expedição

para uma nova atribuição, momento em que a atribuição é feita para o pedido não atribuído mais próximo. E, por fim, a estratégia (c) Estratégia de Atribuição Flexível, em que os pedidos de serviço entram no grupo de pedidos não atribuídos quando todos os veículos estão ocupados ou quando os veículos ociosos não podem alcançar o local de emergência no tempo de resposta máximo exigido, e, com isso, o centro de despacho otimizará a atribuição atual objetivando minimizar o tempo de resposta total de acordo com os pesos associados a diferentes classes de emergências. Nos resultados da pesquisa, a estratégia (c) se mostrou a mais eficiente na redução do tempo de resposta do serviço médico de urgência.

Utilizando simulação, *Wilson et al. (2014)* avaliaram como a eficiência do roteamento e a incerteza de tempo de viagem são afetadas pela estratégia de roteamento empregada em modelos de apoio à decisão. Os autores comparam cenários com diferentes estratégias de roteirização e os resultados demonstraram que, dentro do escopo da análise, que uma estratégia de roteirização que permite aos respondentes selecionar rotas de forma autônoma, ao contrário de ser instruído através de um programa central de apoio à decisão (ou uma central de regulação), melhora o desempenho geral apesar de haver um aumento associado na incerteza na previsão de tempo de viagem.

Outro estudo utilizando simulação foi conduzido por pesquisadores brasileiro e britânicos, *Pinto et al. (2015)* apresentaram o conceito de modelos reutilizáveis de simulação para SEM. Normalmente, os modelos de simulação SEM são desenvolvidos de forma *ad hoc* para avaliar um sistema particular. Em relação a roteirização, a simulação utiliza o algoritmo de menor caminho, com distâncias euclidianas, para definir a rota utilizada. Também foi considerado o histórico de tráfego ao longo do dia na região para ajustar o tempo de resposta.

O modelo de simulação foi validado com dados reais da cidade de Belo Horizonte, MG. Para ilustrar os benefícios da padronização e reutilização, os autores aplicaram o modelo a um contexto no Reino Unido, obtendo um resultado satisfatório.

Em outra linha, *Jotshi et al. (2009)* desenvolveram uma metodologia para o despacho e encaminhamento de veículos de emergência em um ambiente pós-desastre com o apoio de *data fusion*. Dado um fluxo de informações (relativas a

acidentes, estrada, condições de tráfego, etc.), os dados são fundidos para fornecer estimativas de atendimento das vítimas. As informações são usadas para despachar e encaminhar veículos de emergência para locais de retirada de vítimas, seguidos de entrega para hospitais apropriados e respeitando diversas restrições, como a inacessibilidade de vias. O objetivo da pesquisa é otimizar os recursos disponíveis para minimizar o tempo de resposta para uma retirada ou uma entrega de vítimas para atendimento e, assim, maximizar a expectativa de vida de vítimas.

Na ótica do PRDV, Kergosien *et al.* (2011) estudaram o transporte de pacientes no complexo hospitalar da cidade de Tours (França). No problema, algumas demandas são conhecidas antecipadamente e as demais surgem de forma dinâmica. Cada demanda exige um tipo específico de veículo, que pode transportar apenas uma pessoa de cada vez. O objetivo do problema era minimizar os custos totais do transporte. Como solução, os autores propuseram um algoritmo de busca tabu e avaliaram experimentos computacionais em uma instância real e em instâncias geradas aleatoriamente que mostraram que o método pode fornecer soluções de alta qualidade para este problema dinâmico com um curto tempo computacional, um fator essencial para os SEMs.

Modelando matematicamente o problema, focando na alocação e programação de unidades de resgate em desastres naturais foi conduzido por Wex *et al.* (2014). O modelo proposto pelos autores objetiva minimizar a soma ponderada de conclusão dos incidentes de acordo com sua gravidade. O modelo considera cinco tipos de gravidade atrelada a cada incidente. As unidades de resgates que deveriam ser deslocadas para atendimento deveriam ser capacitadas para atender tipo específico de incidente.

Foram utilizadas heurísticas e metaheurísticas para auxiliar na resolução do modelo que apresentava, em menos de um segundo, uma solução viável (apenas em alguns casos, com instâncias que possuíam mais de 40 pacientes necessitando de atendimento, o tempo de computação abrangia vários minutos). A validação do modelo se limitou a estudos computacionais.

Também para um cenário de resposta a desastres naturais, no qual muitas pessoas feridas necessitam de ajuda médica ao mesmo tempo, Talarico *et al.* (2015)

propuseram duas formulações matemáticas para obter planos de rotas para as ambulâncias que minimizam o tempo de conclusão do serviço mais recente entre pessoas que esperam atendimento.

Uma característica importante do modelo é a existência de dois tipos de pacientes: Paciente Código Vermelho, que tem prioridade no atendimento e necessita ser levado ao hospital e o Paciente Código Verde, que pode receber todo atendimento necessário no local e não é levado a nenhum hospital. Devido a necessidade de se obter soluções rápidas e de alta qualidade, os autores propuseram o uso da metaheurística conhecida como *Large Neighborhood Search* para solução do modelo.

Usando uma abordagem voltada à alocação de ambulâncias para hospitais, o recente estudo conduzido por Leo *et al.* (2016), utilizaram de Programação Inteira Mista, com o objetivo de minimizar os tempos de viagens das ambulâncias e o tempo de espera dos pacientes realizando alocação de ambulâncias e a entrada de pacientes de forma simultânea. O modelo calcula a alocação ótima das solicitações, minimizando o tempo de viagem e de espera e penaliza os desequilíbrios de carga de trabalho entre departamentos de emergência da região.

O modelo foi implementado da cidade de Lazio, Itália e obteve resultados conforme esperados e mostrou que, durante a adoção de estratégias de alocação centralizada, como a triagem remota, poderia ter um impacto notável em tornar o processo de alocação muito mais eficiente e eficaz.

Zhang *et al.* (2016) estudaram os tempos de viagem de veículos de emergências, utilizando quatro anos de dados com 76.000 registros de tempo de viagens para determinar o desempenho dos veículos, considerando que tais veículos de emergências (como ambulâncias, viaturas policiais e de corpo de bombeiros) são autorizados a quebrar as regras de trânsito convencionais para chegar ao destino em menos tempo.

Utilizando de métodos estatísticos, o modelo proposto dá um indicador simples e direto, a fim de determinar se uma determinada rota escolhida é confiável ou não e se é o melhor caminho para um determinado par origem-destino, considerando restrições que influenciam o tráfego na via, como congestionamento e bloqueios. Um dos resultados do estudo mostrou que há uma forte correlação negativa entre o tempo

de viagem e o comprimento da rota. Com objetivo de validar seu modelo, foi conduzido um estudo de caso para apresentar o desempenho do tempo de viagem em diferentes horários e rotas.

O modelo desenvolvido por Fancello *et al.* (2017), para grandes acidentes industriais utilizou o MIP buscando maximizar o número de pacientes feridos tratados com sucesso. Além disso foi desenvolvido uma estratégia de realocação de veículos leva em consideração a evolução do estado de saúde dos pacientes. O modelo possuía características que consideravam a severidade das vítimas e determinava três grupos de gravidade (verde, amarelo e vermelho), determinava um tempo máximo para resgate em cada grupo e, também, especialização tanto do tipo de ambulância quanto do hospital que a vítima era levada.

A frota de veículos de emergência era composta por dois tipos de ambulância (básica e avançada) e de um veículo de resgate aéreo que era acionado somente num determinado conjunto de parâmetros de gravidade. Apesar do objetivo do modelo ser a maximização do número de pacientes atendidos, o mesmo se preocupava em atingir um tempo máximo de atendimento para cada grupo, essa característica foi alçada usando um sistema de penalidades nas formulações. Os autores realizaram um estudo de caso na Itália, num simulado evento de incêndio e explosão de uma indústria.

Por fim, uma ampla revisão bibliográfica sobre os Serviços de Emergências Médicas realizada por Aringhieri *et al.* (2017) destaca entre outros assuntos, para problemas de roteirização de ambulâncias, a importância de se desenvolver métodos eficientes que possam determinar a rota ótima ou quase-ótima em tempo real, esses métodos devem incorporar tempos de viagem realistas e considerar diversos aspectos de forma estocástica. Determinar a rota mais curta pode não ser a melhor alternativa, pois há a possibilidade de, por exemplo, um tráfego intenso num trecho que acaba por aumentar o tempo de deslocamento da ambulância até o local do acidente ou ao hospital de destino.

Um SEM opera, geralmente, com mais de um tipo de ambulância. Pode-se destacar dois grupos principais: a Ambulância de Suporte Básico e a ambulância de Suporte Avançado (ou UTI Móvel). Dentro do portfólio bibliográfico da pesquisa, Pinto

et al. (2015) e Fancello *et al.* (2017) trataram explicitamente esse componente nos seus estudos. Kergosien *et al.* (2011) consideraram tipos diferentes de transporte, mas não é claro em relação desse esse tipo de transporte é realizado por um tipo específico de veículo (ambulância). Wex *et al.* (2014), por sua vez, considera se uma unidade de resgate específica é capacitada ou não para atender um tipo específico de acidente.

Outro aspecto importante que deve ser considerado na roteirização de ambulâncias é a priorização de atendimentos. Pacientes considerados mais graves pelos médicos reguladores do serviço devem ser atendidos prioritariamente, pois o tempo de atendimento é crucial para maximizar a sobrevivência das vítimas e reduzir chances de sequelas. Talarico *et al.* (2015) e Fancello *et al.* (2017) trabalharam essa questão diferenciando dois tipos de pacientes: vermelho, que deve ser atendido prioritariamente e levado ao hospital e o verde, que pode ter atendimento médico no local do incidente, sem necessidade de transporte para hospital. Kergosien *et al.* (2011) trataram da priorização de forma individual, ou seja, cada vítima possui um nível de prioridade determinado pelo médico regulador. Wex *et al.* (2014) também trata a priorização de forma individual, atrelando um fator de gravidade para cada acidente que será atendido.

Quanto à rota a ser percorrida, Pinto *et al.* (2015), Knyazkov *et al.* (2015) e Jotshi *et al.* (2009) consideram explicitamente as variações de tráfego nos seus estudos. Leo *et al.* (2016), Talarico *et al.* (2015), Fancello *et al.* (2017), Wilson *et al.* (2014) e Haghani *et al.* (2004) consideram apenas tempos genéricos de deslocamento, atrelados a distância a ser percorrida pela ambulância, porém pode-se verificar a adequabilidade do modelo desenvolvido por Zhang *et al.* (2016) a fim de adequar estes tempos para que reflitam os efeitos do congestionamento na rota.

Em relação à verificação dos resultados, Fancello *et al.* (2017), Zhang *et al.* (2016), Leo *et al.* (2016), Pinto *et al.* (2015), Knyazkov *et al.* (2015), Wilson *et al.* (2014), Kergosien *et al.* (2011) e Jotshi *et al.* (2009), apresentaram estudos de caso dos respectivos modelos aplicados com dados reais.

Foi possível observar a carência de modelos de roteirização com objetivo de minimizar o tempo de atendimento das vítimas que abrangem, simultaneamente, a

priorização de atendimento e frota heterogênea de ambulâncias, e será esse o *gap* foco da pesquisa, tendo como ponto de partida os modelos propostos por Wex *et al.* (2014), Talarico *et al.* (2015) e Fancello *et al.* (2017).

O Quadro 1 abaixo apresenta os artigos que compõem o portfólio bibliográfico da pesquisa como seus respectivos autores e periódicos e ano da publicação.

Quadro 1 - Portfólio bibliográfico selecionado para o Problema da Roteirização de Ambulâncias

Autor (es)	Ano	Título	Periódico
HAGHANI, Ali; TIAN, Qiang; HU, Huijun.	2004	Simulation model for real-time emergency vehicle dispatching and routing	Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board
JOTSHI, Arun; GONG, Qiang; BATTÀ, Rajan.	2009	Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion	Socio-Economic Planning Sciences
KERGOSIEN, Yannick <i>et al.</i>	2011	A tabu search heuristic for the dynamic transportation of patients between care units	European Journal of Operational Research
WILSON, Duncan T. <i>et al.</i>	2013	Evaluation of centralised and autonomous routing strategies in major incident response.	Safety Science
WEX, Felix <i>et al.</i>	2014	Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units	European Journal of Operational Research
TALARICO, Luca; <i>et al.</i>	2015	Ambulance routing for disaster response with patient groups	Computers & Operations Research
PINTO, L. R. <i>et al.</i>	2015	A generic method to develop simulation models for ambulance systems	Simulation Modelling Practice and Theory
KNYAZKOV, Konstantin <i>et al.</i>	2015	Evaluation of Dynamic Ambulance Routing for the Transportation of Patients with Acute Coronary Syndrome in Saint-Petersburg	Procedia Computer Science
ZHANG, Zhenhua <i>et al.</i>	2016	Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles.	Transportation Research Part C: Emerging Technologies
LEO, Gianmaria <i>et al.</i>	2016	Emergency department management in Lazio, Italy.	Omega
ARINGHERI, R. <i>et al.</i>	2017	Emergency Medical Services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review.	Computers & Operations Research
FANCELLO, Gianfranco. <i>et al.</i>	2018	An emergency vehicles allocation model for major industrial disasters	Transportation Research Procedia

Fonte: Elaborado pelo Autor

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

3.1. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa adotada neste trabalho pode ser descrita, de acordo com as classificações propostas por Da Silva e Menezes (2005) e Bertrand e Fransoo (2002), como uma pesquisa científica de natureza aplicada, segundo abordagens quantitativas de objetivos exploratórios e utilizou-se de pesquisa bibliográfica e modelagem matemática como procedimento técnico (Figura 3).

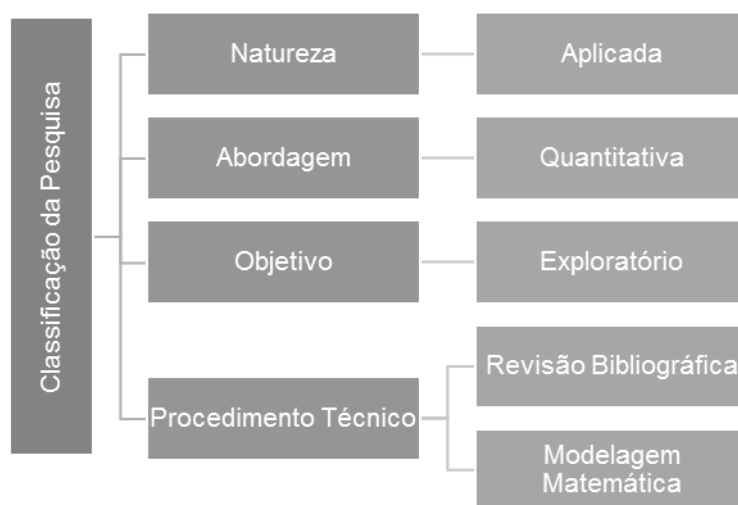


Figura 3 - Classificação da Pesquisa Científica

Fonte: Elaborado pelo Autor

A pesquisa classifica-se como de natureza aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática a problemas específicos de roteirização e despacho de ambulâncias para empresas dos setores público ou privado que almejam executá-los.

A abordagem será principalmente quantitativa, já que as informações são transformadas em números e então comparadas e analisadas. Em relação aos objetivos, a pesquisa é exploratória, pois busca proporcionar maior familiaridade com o problema.

Em relação aos procedimentos técnicos, esta enquadra-se como pesquisa bibliográfica, pois sucederam-se consultas a materiais já publicados, como artigos científicos, dissertações e teses. Se enquadra como modelagem matemática, já que se pretende construir modelos objetivos que explicam o comportamento de sistemas,

ou parte destes, ou que podem capturar parte dos problemas de tomada de decisão (Mapa, 2007).

3.2. ETAPAS METODOLÓGICAS DA PESQUISA

Com intuito de atingir seus objetivos, a metodologia utilizada na pesquisa seguiu as seguintes etapas da Figura 4, apresentadas a seguir:

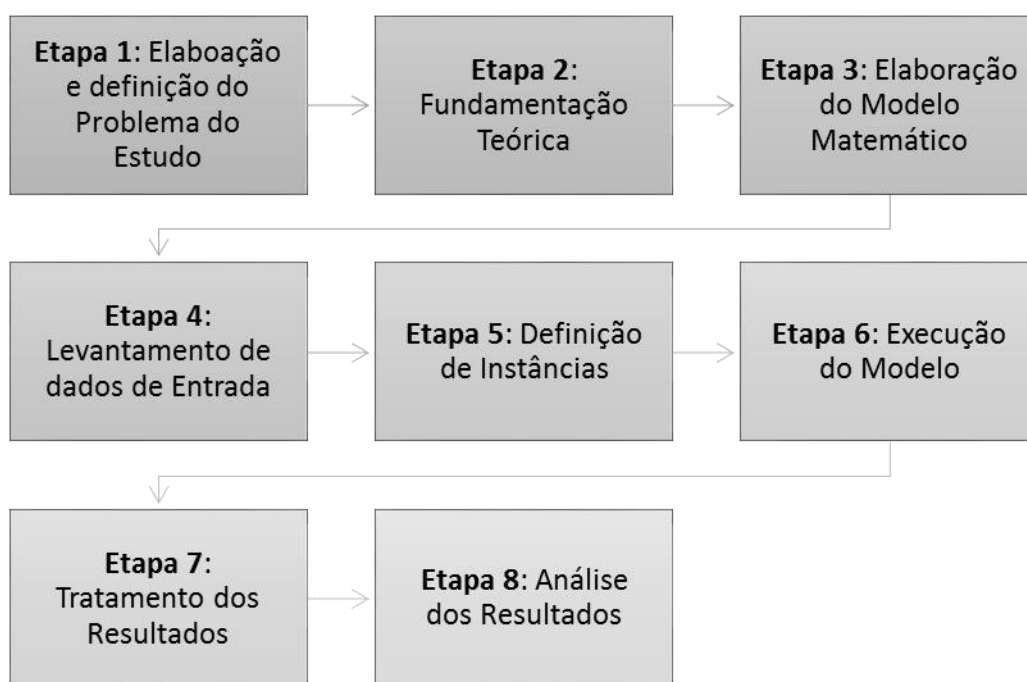


Figura 4 - Fases da Metodologia da Pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor

- Etapa 1: Elaboração e definição do Problema do Estudo
 - Escolheu-se um tema dentro do PRA a partir de pesquisa sobre as variações do problema.
- Etapa 2: Fundamentação Teórica
 - Foi realizado uma revisão bibliográfica sobre o PRA, por meio de artigos científicos publicados em periódicos e congressos, dissertações, teses e livros.

- Realizou-se levantamento acerca dos conjuntos, parâmetros e variáveis sobre o assunto, que auxiliará na definição de dados necessários ao desenvolvimento do modelo matemático a ser proposto.
- Etapa 3: Elaboração do Modelo Matemático
 - A partir dos levantamentos sobre o PRA encontrados na literatura, foi formulado o modelo matemático e o mesmo foi implementado em um *software* específico, o *IBM® ILOG® CPLEX® Optimization Studio*, que permitirá a execução e avaliação do modelo.
- Etapa 4: Levantamento dos Dados de Entrada
 - Identificou-se os dados de entrada e parâmetros necessários para solução do modelo.
 - Os dados foram obtidos por meio do regulador do sistema de emergências médicas do estado do Espírito Santo. Os dados foram entregues em planilha eletrônica e apresentavam um resumo do número de chamados, efetivações de atendimento e local (cidade) do chamado referentes ao mês de março de 2017.
- Etapa 5: Definição das Instâncias
 - Definiu-se os cenários de testes dos parâmetros utilizados no modelo, a fim de verificar as influências das variações no resultado final e, também, demonstrar a aplicabilidade do modelo matemático proposto e suportar a tomada de decisão.
 - Foram selecionadas instâncias com dados equivalentes aos do funcionamento do SAMU na Grande Vitória, para ser usado como estudo de caso.
- Etapa 6: Execução do Modelo
 - Definidas as instâncias, as mesmas foram executadas no *software*, buscando resolver o PRA.

- Etapa 7: Tratamento dos Resultados
 - As soluções numéricas obtidas na etapa anterior foram traduzidas em tabelas e gráficos, com o intuito de qualificar o entendimento dos resultados.
- Etapa 8: Análise dos Resultados
 - Os resultados foram analisados do ponto de vista da eficácia do modelo:
 - Análise dos efeitos da variação de quantidade total de pacientes no tempo de atendimento;
 - Análise dos efeitos da variação dos tipos de pacientes (código verde e código vermelho) no tempo de atendimento;
 - Análise dos efeitos da variação de quantidade de veículos (ambulâncias) no tempo de atendimento;
 - Análise dos efeitos da variação dos tipos de veículos (ambulâncias) no tempo de atendimento;
 - Realizou-se uma apreciação da eficiência do modelo por meio do comportamento do tempo de processamento gasto para cada instância.

4. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

O objetivo do problema de roteirização de ambulâncias é encontrar rotas para uma frota heterogênea de ambulâncias, a fim de dar atender a um conjunto de chamados. A notação utilizada no problema está descrita no Quadro 2. Inicialmente, o modelo tem como base a formulação proposta por Talarico *et al.* (2015) acrescentada do uso de uma frota heterogênea de ambulâncias que atende a um grupo específico de chamados, de maneira semelhante a que foi utilizado nos trabalhos de Wex *et al.* (2014) e Francello *et al.* (2017).

Considere um cenário onde existem diversos chamados de emergências médicas, espalhados geograficamente, há um serviço de remoção dessas possíveis vítimas, utilizando dois tipos de ambulâncias, e um conjunto de hospitais onde possam ser levadas. Ainda, ao acionar o serviço de remoção, os chamados são agrupados em dois grupos de acordo com a gravidade (verde e vermelho) e um desses grupos possui um grau de prioridade maior (vermelho) do que o outro (verde) e se busca determinar qual ambulância deve atender qual paciente, determinando sua rota e, também, se aquele tipo de ambulância é adequado aquele tipo de chamado. São muitas decisões e variáveis que devem ser consideradas. O modelo proposto busca considerar todas essas características, entre outras, e minimizar o tempo gasto para atender todos os pacientes.

Seja R o conjunto de chamados de código vermelho que devem de ser atendidos por ambulâncias capacitadas para serem levados para o conjunto de hospitais H . Seja G o conjunto de chamados de código verde que podem ser atendidos diretamente no local do acidente. O conjunto de todos os chamados pode ser denotado por $P = R \cup G$.

A frota de ambulâncias disponíveis, que estão inicialmente alocadas em um hospital, para atender os chamados é denotada por K . Denomina-se por $K_h \subseteq K$ o subconjunto de ambulâncias que estão inicialmente localizadas no hospital $h \in H$.

São considerados dois tipos de ambulância: uma capaz de atender somente chamados de código verde e uma outra, capacitada, que atende chamados de código vermelho e de código verde. Para denotar essa capacidade, foi definido o parâmetro

binário cap_i indica se a ambulância é capacitada ou não para atender o chamado $i \in P$. Os valores são dados da seguinte maneira:

- Se o chamado $i \in P$ é de código vermelho ou verde e a ambulância é capacitada, $cap_i = 1$;
- Se o chamado $i \in P$ é de código verde e a ambulância não é capacitada, $cap_i = 0$.
- Se o chamado $i \in P$ é de código vermelho e a ambulância não é capacitada, $cap_i = 0$;

O conjunto de arcos relevantes para o problema de roteirização é denotado por $A = \{P \times P\} \cup \{H \times P\} \cup \{P \times H\}$ e t_{ij} como o tempo de viagem necessário para a ambulância atravessar o arco $(i, j) \in A$.

Um tempo de serviço d_i está associado a cada chamado $i \in P$. Sendo que:

- Para os chamados de código vermelho, d_i indica o tempo necessário para preparar o paciente para o transporte para um hospital; e
- Para os chamados de código verde, d_i indica o tempo necessário para dar o atendimento do paciente no local do acidente.

Um tempo de transferência d_h para cada hospital $h \in H$ representa o tempo necessário para deixar o paciente do chamado de código vermelho neste hospital. Por fim, denota-se por c_h a capacidade do hospital $h \in H$, em termos do número máximo de pacientes do chamado de código vermelho, que podem ser trazidos para este local.

Ainda, o modelo considera os seguintes pressupostos:

- A capacidade de cada hospital é suficientemente grande para atender a todos os pacientes código vermelho, ou seja, $\sum_{h \in H} c_h \geq |R|$;
- Cada ambulância pode transportar, no máximo, um paciente do chamado de código vermelho por vez e deve ir diretamente para um hospital que possua capacidade residual para atender o paciente;

- Tendo servido a um paciente do chamado de código verde no local do acidente, a ambulância pode ir diretamente para o próximo chamado (código verde ou código vermelho) em sua rota;
- Um tipo qualquer de ambulância não é capaz de realizar o atendimento a pacientes código vermelho, sendo assim, necessário deslocar uma ambulância capacitada para o atendimento. Todavia, essa ambulância capacitada pode, também, realizar atendimentos a pacientes código verde, caso esteja disponível.
- Existe, ao menos, uma ambulância capacitada para qualquer conjunto K .
- Cada ambulância termina sua última rota em qualquer hospital.

Define-se como o tempo de conclusão do serviço de um paciente de código vermelho como o momento em que o paciente é deixado no hospital designado e, para um paciente de código verde, a conclusão dos primeiros socorros no local do acidente.

Assim, o objetivo deste problema de roteamento de ambulância é minimizar uma combinação linear ponderada do último tempo de conclusão de serviço e_R entre todos os chamados de código vermelho e o último tempo de conclusão de serviço e_G entre todos os chamados de código verde. O tempo de conclusão do serviço mais recente entre os chamados de um grupo é considerado aqui porque minimiza o pior caso de tempo de espera. Além disso, e_R e e_G são ponderados pelos parâmetros w_R e w_G , respectivamente, para expressar a importância relativa que um tomador de decisão provavelmente atribui aos grupos de pacientes. Em particular, se os chamados de código vermelho forem servidos com a máxima prioridade, um ajuste $w_R \gg w_G$ garantirá que esses pacientes sejam atendidos no início do roteiro.

Um resumo da notação de conjuntos, parâmetros e variáveis está denotado abaixo.

Quadro 2 - Notação usada para modelar o problema de roteirização de ambulâncias

Conjuntos	
R	Conjunto de pacientes código vermelho
G	Conjunto de pacientes código verde
P	Conjunto de todos pacientes, $P = R \cup G$
H	Conjunto de hospitais
K_h	Conjunto de ambulâncias que estão inicialmente localizadas no hospital $h \in H$
K	Conjunto de todas ambulâncias $K = \cup_{h \in H} K_h$
A	Conjunto de arcos do problema $A = \{P \times P\} \cup \{H \times P\} \cup \{P \times H\}$
Parâmetros	
cap_i	Parâmetro binário, 1 se a ambulância k atende o paciente $i \in P$
t_{ij}	Tempo de viagem de i para j com $(i, j) \in A$
d_i	Tempo de serviço do chamado $i \in P$
d_h	Tempo de transferência para deixar um paciente de chamado de código vermelho no hospital $h \in H$
c_h	Capacidade do hospital $h \in H$
w_R	Prioridade dada aos chamados código vermelho
w_G	Prioridade dada aos chamados código verde
Variáveis de decisão	
x_{ij}	Binária, 1 se a ambulância serve paciente i diretamente antes do paciente j
u_{ij}	Binária, se o paciente código vermelho i é levado ao hospital h
e_R	Tempo de conclusão do serviço mais recente entre todos os pacientes de código vermelho
e_G	Tempo de conclusão do serviço mais recente entre todos os pacientes de código verde

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quanto às variáveis de decisão, o modelo utiliza a variável binária x_{ij} , que retorna o valor igual a 1 se a ambulância serve o paciente i , diretamente antes do paciente j , ou 0, caso contrário. Outra variável binária u_{ij} retorna o valor 1 se o paciente do chamado código vermelho, $i \in R$, é levado ao hospital h ou 0, caso contrário. O tempo de visita do paciente i , isto é, o tempo de chegada da ambulância para atendimento do paciente, é representado por uma variável contínua b_i .

Assim, o Problema de Roteirização de Ambulância deste trabalho é dado por (1) – (14):

$$\min w_R e_R + w_G e_G \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in P \cup H} x_{hj} \leq |K_h|, \forall h \in H \quad (2)$$

$$\sum_{j \in P \cup H} x_{ji} = 1, \forall i \in P \quad (3)$$

$$\sum_{j \in P \cup H} x_{ji} = \sum_{j \in P \cup H} x_{ij}, \forall i \in P \quad (4)$$

$$\sum_{h \in H} u_{ih} = 1, \forall i \in R \quad (5)$$

$$\sum_{i \in R} u_{ih} \leq c_h, \forall h \in H \quad (6)$$

$$x_{ij} \leq cap_i \forall i \in P; \quad (7)$$

$$b_i + d_i + t_{ij} \leq b_j + (1 - x_{ij}) \times M, \forall i \in G \cup H; j \in P \quad (8)$$

$$b_i + d_i + t_{ih} + d_h + t_{hj} \leq b_j + (2 - x_{ij} - u_{ih}) \times M, \forall i \in R; j \in P; h \in H \quad (9)$$

$$e_G \geq b_i + d_i, \forall i \in G \quad (10)$$

$$e_r \geq b_i + d_i + t_{ih} + u_{ih} (d_h + t_{hj}), \forall i \in R; h \in H \quad (11)$$

$$b_i \geq 0, \forall i \in P \cup H \quad (12)$$

$$u_{ih} \in \{0, 1\}, \forall i \in P; h \in H \quad (13)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \forall (i, j) \in A; k \in K \quad (14)$$

A função objetivo (1) busca minimizar a soma ponderada do último tempo de conclusão do serviço entre todos os chamados de código vermelho e o último tempo de conclusão do serviço entre todos os chamados de código verde.

A restrição (2) garante que ao menos K_h ambulâncias estão inicialmente localizadas no hospital h .

De acordo com a restrição (3), cada paciente é visitado exatamente uma vez por uma das ambulâncias.

A restrição (4) impõe que uma ambulância que visita o chamado também tem que deixar a localização do chamado. Consequentemente, ambulâncias terminam suas rotas em um dos hospitais.

Restrições (5) e (6) exigem que cada chamado de código vermelho seja designado exatamente para um hospital e que a capacidade de cada hospital seja respeitada.

A restrição (7) assegura que uma ambulância não será atribuída ao chamado i se ambulância não tiver a capacidade de atender i .

As restrições (8) e (9) propagam os tempos de chegada das ambulâncias nos locais dos chamados. De acordo com (8), o tempo de chegada b_j de uma ambulância num chamado j é determinado pelo tempo de chegada b_i no local i (um chamado de código verde ou em um hospital) visitado imediatamente antes do chamado j , pelo tempo de serviço d_i no local i , e pelo tempo de viagem t_{ij} para ir de i para j . Se, no entanto, i representa um chamado de código vermelho, o desvio para levar i ao seu hospital designado deve ser incluído no cálculo da hora de chegada em j . Isto é assegurado pela restrição (8).

Restrição (10) determina o último tempo de conclusão do serviço e_G entre todos os serviços de primeiros socorros fornecidos aos chamados com código verde.

A restrição (11) determina o último tempo de conclusão do serviço e_R de todos os pacientes com código vermelho.

Por fim, as restrições (12), (13) e (14) definem os domínios das variáveis de decisão.

No modelo proposto por Talarico *et al.* (2015) é utilizado o termo M para calcular o tempo de chegada nos locais dos pacientes. O termo se faz necessário para que *solvers* de Programação Inteira Mista consigam suportar as formulações. Desse modo, é necessário determinar um valor que seja suficientemente grande para M . A ideia geral é calcular para cada chamado i o tempo máximo t_i^{max} que é necessário para alcançar e servir este chamado.

Para chamados de código verde $i \in G$, esse valor é dado por $t_i^{max} = \max_{k \in G \cup H} \{t_{ki}\} + d_i$ já que a ambulância correspondente pode ser localizada em outro chamado de código verde ou em algum hospital antes de ir ao paciente i . Para os chamados código vermelho, se inclui o tempo mais longo possível que é necessário para deixar os pacientes em qualquer um dos hospitais, ou seja, $t_i^{max} = \max_{k \in G \cup H} \{t_{ki}\} + d_i + \max_{h \in H} \{t_{hi} + d_h\}$. Supondo que no pior dos casos todos os pacientes sejam atendidos pela mesma ambulância, $M = \sum_{i \in P} t_i^{max}$ representa um limite superior no tempo de chegada em qualquer paciente.

Para alimentar os dados que irão compor os cenários de execução do modelo, foi abordado um estudo de caso que está detalhado no Capítulo 5.

4.1. INSTÂNCIAS DE TESTE DO MODELO

Para testar o modelo matemático proposto, foi necessário a execução de várias instâncias que objetivam capturar várias situações de planejamento. Foram executadas instâncias com um número variado de chamados código vermelho e chamados código verde, quantidade de ambulâncias e proporção de ambulâncias capacitadas. O procedimento descrito a seguir foi adaptado de Talarico *et al.* (2015).

Os parâmetros foram variados da seguinte forma:

- Número total de pacientes $|P|$: *baixo*, *médio* e *alto*
- Porcentagem de pacientes código vermelho: *baixo* ($|R| = 25\% \cdot |P|$), *médio* ($|R| = 50\% \cdot |P|$), *alto* ($|R| = 75\% \cdot |P|$)
- Número de ambulâncias: *baixo*, *médio* e *alto*
- Proporção do tipo de ambulância capacitada ($|CAP|$): *baixo*, *médio* e *alto*.

Uma instância de teste foi produzida para cada combinação dos parâmetros acima. Para cada instância, as localizações de hospitais e pacientes foram sorteadas aleatoriamente em uma área que representa um corte geográfico no município de Vitória - ES, com tempos de viagem t_{ij} dado por um serviço de determinação de rotas da internet.

A duração de serviço d_i dos pacientes de código vermelho $i \in R$ foi distribuída aleatoriamente do intervalo pré-determinado. Deixar um paciente de código vermelho em um hospital é feito imediatamente, ou seja, $d_h = 0, \forall h \in H$. As ambulâncias $|K|$ disponíveis, assim como seus tipos, e a capacidade do hospital foram distribuídas aleatoriamente entre os hospitais contidos em uma instância.

A fim de analisar o impacto da priorização de pacientes código vermelho e código verde, foram associadas às instâncias, acima mencionadas, combinações diferentes de pesos para w_R e w_G .

O processo de combinação trouxe 81 cenários, para cada valor de w_R e w_G . Cada *setup* de cenário pode ser encontrado no **APÊNDICE A**. Como foram usadas três combinações de w_R e w_G , esse trabalho totalizou 243 execuções do modelo no *Cplex*.

5. O SAMU DA REGIÃO METROPOLITANA DE SAÚDE DA GRANDE VITÓRIA

Atendendo a orientações constitucionais, a regionalização dos serviços de saúde do Estado do Espírito Santo foi revisada no ano de 2011 e tem como principais objetivos: orientar o processo de planejamento em saúde com base nas necessidades e características regionais; garantir o acesso, a resolutividade e a qualidade das ações e serviços de saúde; garantir a integralidade da atenção à saúde em todos os níveis; avançar na equidade da política de saúde; reduzir as desigualdades regionais existentes; racionalizar os gastos e otimizar a aplicação dos recursos na região (Espírito Santo, 2011).

A regionalização buscou realizar recortes territoriais utilizando critérios como contiguidade, distância entre os municípios, acesso aos serviços de saúde, infraestrutura de transporte, malha viária, a identidade cultural e o fluxo de pessoas historicamente constituído. Assim, o Espírito Santo foi dividido em quatro regiões: Norte, Central, Metropolitana e Sul, como podemos observar na Figura 5.

A Região Metropolitana de Saúde é composta por 20 municípios: Vitória, Vila Velha, Serra, Fundão, Cariacica, Viana, Guarapari, Piúma, Anchieta, Marechal Floriano, Domingos Martins, Santa Maria de Jetibá, Santa Teresa, Itaguaçu, Afonso Cláudio, Venda Nova do Imigrante e Itarana.

Os municípios que compõem a Região Metropolitana de Saúde, segundo dados do Censo 2010 do IBGE (Brasil, 2010), somam uma população de 1.935.393 habitantes (55% da população capixaba), sendo que 91,42% se encontram em área urbana e 8,58% em área rural.

Atualmente, o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência no estado do Espírito Santo só atende aos municípios pertencentes a Região Metropolitana de Saúde e conta com uma frota de 31 ambulâncias. Seu funcionamento é semelhante aos outros estados: o atendimento se inicia a partir do chamado telefônico. A ligação é atendida por Telefonistas Auxiliares de Regulação Médica, que identificam a emergência e coletam as primeiras informações sobre as vítimas e sua localização. Em seguida, as chamadas são remetidas ao Médico Regulador, que presta orientações às vítimas e aciona as ambulâncias.

As ambulâncias despachadas realizam o atendimento pré-hospitalar e, quando necessário, o encaminhamento aos serviços hospitalares de referência como pronto-atendimentos e hospitais.



Figura 5 - Regiões de Saúde no Estado do Espírito Santo

Fonte: (Espírito Santo, 2011)

Segundo dados disponibilizados pelo regulador do serviço, o SAMU recebe, em média, cerca de 2,6 mil ligações por dia, porém, 80% dessas chamadas é trote ou pedidos de informação e muitos desses trotes são descobertos apenas quando a ambulância chega no local do chamado e não há vítima para ser atendida.

Quando uma ambulância é deslocada sem necessidade há um prejuízo financeiro estimado em R\$525,00 em cada deslocamento e principalmente, um prejuízo não-quantificável proveniente da demora do atendimento de um chamado realmente necessário.

Para o estudo de caso neste trabalho, foi realizado um recorte do serviço, considerando apenas em parte do município de Vitória, ES. O objetivo do recorte foi simplificar a estrutura a ser estudada, mas mantendo as características principais do serviço como um todo.

5.1. NÚMERO TOTAL DE CHAMADOS E DE AMBULÂNCIAS

O município de Vitória - ES possui uma geografia distinta, parte do seu território está situado numa ilha e a outra parte, no continente. A ligação entre essas áreas é feita por três pontes sobre um braço do Rio Santa Maria. No pedaço centro-oeste insular, ainda há uma grande área conhecido como maciço central e, ainda rodeada por uma extensa área de preservação permanente. A população da capital, segundo dados do Censo 2010 (Brasil, 2010), é de 282.611 habitantes.

Vitória é subdividida em nove partes (**ANEXO A**), chamadas de regiões administrativas, sendo elas: I - Zona Sul (Centro); II - Santo Antônio; III - Jucutuquara; IV - Maruípe; V - Zona Leste (Praia do Canto); VI - Zona Norte (Continental); VII - Zona Oeste (São Pedro) e; VIII - Jardim Camburi e IX – Jardim da Penha.

Com o intuito de se obter valores mais consistentes de tempo de viagem (t_{ij}) entre chamado-chamado e chamado-hospitais, decidiu-se por se retirar as Regiões II e VII (Santo Antônio e São Pedro) da localização de possíveis chamados. Por ser uma região localizada a extremo oeste do município, com topografia bastante irregular e

ainda com problemas de acessibilidade e não possuir hospitais na região, os valores de t_{ij} , para chamados dessa região, poderia gerar impacto negativo nos dados, criando *outliers* nos resultados. Apesar dessa retirada, nas instâncias de teste, o serviço ainda conseguiu cobrir 89% da população do município.

O SAMU recebe em média 545 chamadas diárias para atender ocorrências no município de Vitória. Portanto, são recebidos 23 chamados a cada hora, ou um chamado a cada três minutos.

Dessa forma, o modelo executou uma instância de teste com o número total de chamados (P) equivalente a 1h de serviço. Os locais dos chamados serão distribuídos aleatoriamente em ruas do recorte explicitado acima. Essa distribuição foi dada pelo sorteio de um Código de Endereçamento Postal (CEP) de ruas dos bairros selecionados para cada um dos chamados, esse procedimento será mais bem detalhado no item 5.2.

Em relação ao Número de ambulâncias (A), o SAMU da Grande Vitória conta com bases de apoio no município e em hospitais da rede estadual. Atualmente existem 6 ambulâncias dedicadas, não exclusivamente, ao município de Vitória, sendo que duas delas são do tipo UTI-Móvel, que atendem casos mais complexos.

Esses valores atuais de (P) e (A) foram determinados como “Baixo” nos parâmetros das instâncias de teste do modelo. Para avaliar o comportamento de aumento de demanda e contramedidas do serviço, foram incrementados os valores de (P) e (A) da seguinte maneira:

Tabela 1 - Parâmetro de entrada do "Número de Chamados" e do "Número de Ambulâncias"

	Baixo	Médio	Alto
Número chamados ($ P $):	23	34	40
Número de ambulâncias ($ A $):	6	9	11

Fonte: Elaborado pelo Autor

Vale ressaltar que a variação no número de chamados busca representar um aumento na demanda do serviço, de aproximadamente 50% (médio) e 75% (alto) no número total dos chamados. E o aumento do número de ambulâncias, representa uma possibilidade de resposta com aumento da frota de veículos de aproximadamente 50% (médio) e 75% (alto).

Devemos considerar ainda:

- Porcentagem de chamados código vermelho $|R|$: *baixo* ($25\% \cdot |P|$), *médio* ($|R| = 50\% |P|$), *alto* ($|R| = 75\% |P|$)
- Porcentagem de tipo de ambulância capacitada ($|CAP|$): *baixo* ($25\% |A|$), *médio* ($50\% |A|$) e *alto* ($75\% |A|$).

Valores, quando não inteiros, foram arredondados para próximo valor inteiro.

5.2. TEMPOS DE VIAGEM

Os tempos de viagem (t_{ij}) entre os locais chamados foi obtido usando a *Google Maps Distance Matrix API*, com isso se pode ter valores mais próximos dos reais. A *Google Maps Distance Matrix API* (Google, 2017) é um serviço que fornece a distância e o tempo de percurso para uma matriz de origens e destinos, de acordo com a rota recomendada entre os pontos de partida e chegada. Contudo, é importante destacar que se obter esses valores, a API considera algumas características de circulação da via, como limites máximos de velocidade e impossibilidade de algumas manobras. Entretanto, o Código de Trânsito Brasileiro estabelece, no artigo 29, inciso VII, que, desde que estejam em situação de urgência, os veículos destinados ao policiamento, ao uso por bombeiros, as ambulâncias e os de fiscalização e operação de trânsito têm prioridade no trânsito e podem circular livremente (Brasil, 1997). Assim, os valores reais de tempo de viagem podem ser menores que aqueles obtidos pela API.

Outra consideração importante referiu-se ao parâmetro de entrada que identifica a localização do chamado. Nas instâncias de execução do modelo, foi utilizado o CEP para essa localização. Quando esse parâmetro foi introduzido na API, por não conter informações da numeração (altura) da rua, o sistema considerou o ponto localizado no meio geográfico entre o ponto inicial e final daquela respectiva rua indicada pelo CEP. Por exemplo, se um logradouro tem 5km de extensão, a localização do ponto é no km 2,5 daquele logradouro.

Os tempos de transferência para deixar pacientes de chamados de código vermelho em hospitais (d_h) também foram obtidos usando o mesmo método.

5.3. TEMPO DE SERVIÇO NO CHAMADO

O tempo de serviço no chamado (d_i) é o tempo despendido pelos socorristas desde o momento da chegada da ambulância no local, os procedimentos médicos no paciente e, quando necessário, a preparação para transporte. Por esses dados não se encontrarem disponíveis, os valores de d_i foram definidos por meio de literatura disponível.

Silva (2010, p.37) apresenta um compilado de padrões e tempos de atendimento em estudos realizados no Brasil e no exterior. Dados a partir dos anos 2000, mostram que tempo médio de serviço no local entre 6,55 min e 29,26 min. Garcia (2006) com dados do serviço de emergência do Corpo de Bombeiros do Rio de Janeiro, observou valores entre 5min e 30min, com predominância da média em 9min.

Assim, os valores de d_i considerados nas instâncias de execução do modelo serão definidas para cada chamado de forma aleatória com valores, em minutos, do intervalo [5; 30].

5.4. CONJUNTO DE HOSPITAIS

A rede hospitalar própria do estado do Espírito Santo conta com 21 hospitais (Espírito Santo, 2015), sendo que quatro deles estão situados na capital:

- Hospital de Urgência e Emergência (HUE), localizado na Rua Desembargador José Vicente, Forte São João, Região Administrativa III;
- Hospital Estadual Central (HEC), localizado na Rua São José, Centro, Região Administrativa I.
- Hospital da Polícia Militar do Espírito Santo (HPM), localizado na Av. Joubert de Barros, em Bento Ferreira; Região Administrativa III; e
- Hospital Infantil Nossa Senhora da Glória (HINSG), localizado na Rua Alameda Mary Ubirajara, Santa Lúcia, Região Administrativa V.

Vitória ainda conta com duas unidades de Pronto Atendimento, de administração municipal (Vitória, 2016).

- PA da Praia do Suá, localizado na Rua Almirante Tamandaré, Praia do Suá, Região Administrativa V; e
- PA São Pedro, localizado na Rodovia Serafim Derenzi, São Pedro III, Região Administrativa VII.

Vale ressaltar que, apesar de serem aptas a receber pacientes em caso de urgência, os Pronto Atendimentos podem não possuir estrutura adequada para todos tipos de procedimento.

Temos ainda o Hospital Universitário Antônio Cassiano de Moraes (Hucam), pertencente à Universidade Federal do Espírito Santo, localizado na Av. Marechal Campos, Santa Cecília, Região Administrativa IV.

Complementarmente, ainda há diversos hospitais da rede particular e filantrópicos que atendem usuários do Sistema Único de Saúde (SUS).

Para as instâncias de execução do modelo, foram utilizados apenas o conjunto dos 3 (três) hospitais da rede estadual própria (o HUE, HPM e o HINSG), ilustrado na Figura 6. Apesar de alguns deles atenderem tipos específicos de urgência, por exemplo, o HINSG não realizar atendimento adulto, essas características não foram consideradas, pois o modelo não trata de especificações quanto ao perfil (idade, sexo) do chamado, apenas sua gravidade. Importante ressaltar que a administração pública muitas vezes aloca o local de atendimento de Urgência e Emergência de uma unidade hospitalar para outra. Por exemplo, local de atendimento de urgência do HINSG no HPM. Essas especificidades foram desconsideradas para facilitar a execução dos cenários.

Em relação a capacidade do hospital (c_h), por não ser objeto principal desse estudo, será afixado para todos hospitais $c_h = |P|$, garantindo a cada hospital capacidade de receber qualquer número de pacientes.



Figura 6 - Localização dos hospitais da rede pública estadual no município de Vitória

Fonte: Elaborado pelo Autor / **Crédito:** Google Maps

No mapa podemos observar a predominância na localização da rede pública hospitalar estadual na região Sul do município de Vitória, ES.

5.5. DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS DE EXECUÇÃO DO MODELO

Para o testar o modelo matemático proposto, foi necessário a execução de várias instâncias que objetivam capturar várias situações. As instâncias buscam simular um aumento na demanda de chamados e a proporção de chamados de código vermelho, aumento da frota de ambulâncias e na proporção de ambulâncias capacitadas.

Os parâmetros foram variados da seguinte forma:

- Número total de chamados ($|P|$): *baixo* ($|P| = 23$), *médio* ($|P| = 34$) e *alto* ($|P| = 40$);
- Porcentagem de chamados código vermelho $|R|$: *baixo* ($25\% \cdot |P|$), *médio* ($|R| = 50\% |P|$), *alto* ($|R| = 75\% |P|$)

- Número de ambulâncias ($|A|$): *baixo* ($|A| = 6$), *médio* ($|A| = 9$) e *alto* ($|A| = 11$)
- Porcentagem de tipo de ambulância capacitada ($|CAP|$): *baixo* (25% $|A|$), *médio* 50% $|A|$) e *alto* (75% $|A|$).

Uma instância de teste foi produzida para cada combinação dos parâmetros acima. Para cada instância, as localizações de hospitais foram fixas, conforme a localização real dos hospitais, e os locais dos chamados foram sorteadas aleatoriamente no recorte geográfico, assim como a duração de serviço d_i [5; 30] minutos,

Os tempos de viagem t_{ij} , em minutos, correspondentes à distância de viagem entre os pontos foi obtido pelo *Google Maps Distance Matrix API*.

Deixar um paciente de chamado código vermelho em um hospital foi feito imediatamente, ou seja, $d_h = 0, \forall h \in H$. As ambulâncias disponíveis, assim como seus tipos foram distribuídas aleatoriamente entre os hospitais contidos em uma instância.

Foram avaliados os impactos da priorização de chamados código vermelho e código verde, serão associadas às instâncias acima mencionadas, combinações diferentes de pesos para w_R e w_G , conforme Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Variações dos pesos avaliados nas instâncias

Pesos		Importância relativa do chamado código vermelho
w_G	w_R	
1	1	50%
1	2	67%
1	10	91%

Fonte: Elaborado do Autor. Adaptado de Talarico *et al.* (2015)

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo matemático foi implementado no *solver IBM CPLEX 12.7.1*, com licença estudantil disponibilizada pela *IBM*, num computador rodando *Windows 10 Pro 64 bits*, com 4 GB de RAM, Intel® Core™ 2 Duo CPU T8100 @ 2.10 GHz / 2.10 GHz. Os resultados dos 243 cenários, descritos no Capítulo 5, podem ser observados no **APÊNDICE B**.

Na coluna “#INS” identifica cada uma das instâncias executadas do modelo matemático. A Coluna “ e_G ” denota o valor do tempo, em minutos, de conclusão do serviço mais recente entre todos chamados de código verde. A Coluna “ e_R ” denota o valor do tempo, em minutos, de conclusão do serviço mais recente entre todos chamados de código vermelho. A Coluna “OBJ” representa o valor, em minutos, da função objetivo obtida na execução do modelo. Por fim, a coluna “ t_{cpu} ” mostra o tempo gasto, em segundos, para a execução do cenário no *CPLEX*.

Vale ressaltar que, tanto para e_G e e_R , valores menores representam resultados melhores, já que representam o tempo gasto para o atendimento do chamado, por se tratar de serviços de emergência, quanto menor o tempo de resposta, mais chances de sobrevivência e menor serão as possíveis sequelas. O mesmo vale para a *OBJ*, já que seu valor é um decorrente da soma ponderada de e_G e e_R . Da mesma forma, para t_{cpu} , menores valores representam melhores resultados, pois rapidez na obtenção de respostas é essencial nos serviços de emergências médicas.

No geral, é possível observar que no aumento do número de instâncias no modelo, maiores os valores para e_G e e_R , *OBJ* e t_{cpu} . Tais aumentos eram esperados, já que, por exemplo, com aumento do número de chamados na fila, maior será a espera para que o último da fila seja atendido. Também maior será os valores de t_{cpu} , pois haverá um número maior de possibilidades de rotas a serem consideradas pelo modelo antes de apresentar um valor ótimo, resultando um acréscimo de cálculos e, por consequência, um maior gasto de tempo computacional.

Os valores de e_R são maiores do que os de e_G , isso se dá ao fato de que o tempo para completar o serviço no chamado código verde termina ao final do atendimento no local, enquanto que para os chamados de código vermelho, ainda

serão adicionados os tempos de deslocamento para o hospital e o tempo para deixar o paciente no hospital.

Com os resultados, podemos analisar as implicações resultantes das variações dos parâmetros do modelo, como o aumento do número de chamados, da quantidade de ambulâncias, da proporção de chamados código vermelho e na importância relativa desses.

Para facilitar a apresentação dos resultados das instâncias, nos gráficos seguintes foi adotada a seguinte dinâmica: para cada gráfico, o parâmetro de número de chamados (P) é fixo, ou seja, foram analisados os resultados das variações dos outros parâmetros para cada grupo “Baixo”, “Médio” e “Alto” de chamados. Os demais parâmetros: porcentagem de chamados código vermelho (R); número de ambulâncias (A) e a proporção de ambulâncias capacitadas (CAP) também variam de “Baixo” para “Médio” e para “Alto”, numa sequência descrita para cada gráfico. O número das instâncias de cada um dos pontos do gráfico foram os mesmos do Anexo 2. Para cada conjunto de pontos (e_R , e_G , OBJ e t_{cpu}) foi traçada uma reta de tendência linear com o intuito, apenas, de se observar a inclinação dos resultados obtidos.

No eixo das ordenadas, as instâncias também estão subdivididas, com o auxílio de retas horizontais, em “Baixo”, “Médio” e “Alta”, para cada grupo de parâmetro do gráfico.

É importante ressaltar que serão apresentados, graficamente, os resultados obtidos nas instâncias que tinham com importância relativa de 50% dos chamados de código vermelho, ou seja, com valores de $w_R = 1$ e $w_G = 2$. Para as demais variações desses pesos, os comportamentos dos resultados seguem as mesmas tendências, apesar das diferenças nos valores médio de e_R e e_G , conforme será explicitado no fim desse capítulo.

Nos Gráfico 1, 2 e 3 abaixo, podemos observar o impacto da variação da quantidade de ambulâncias nos resultados. Na medida que se aumenta o número de ambulâncias disponíveis, os valores de e_R e e_G tendem a ser menores e, por consequência, também os valores de OBJ .

Usando esse conjunto de parâmetros do Gráfico 1, podemos fazer análise do impacto do número de ambulâncias no sistema. Se observarmos a INS #7, dentro da quantidade “Baixo” do número de ambulâncias o tempo e_R encontrado foi de 79 minutos para atender todos os pacientes de código vermelho. Ao aumentarmos a quantidade de ambulâncias para “Alto”, o valor de e_R encontrando na INS #21 foi de 19 minutos. Assim, houve uma redução de 60 minutos nos valores encontrados.

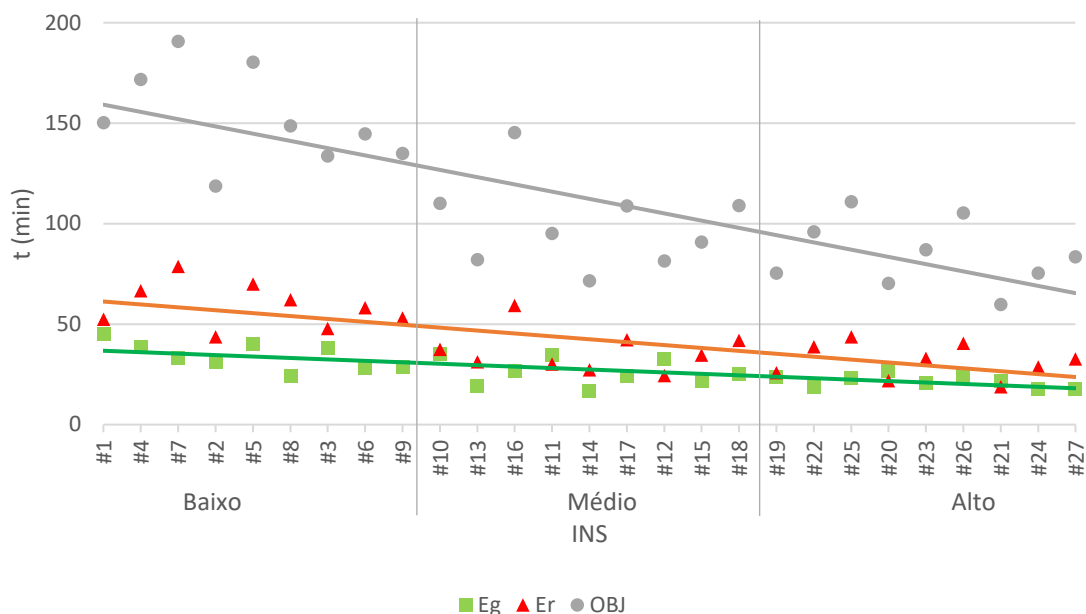


Gráfico 1 - Impacto da variação do "Número de Ambulâncias" para número "Baixo" de chamados

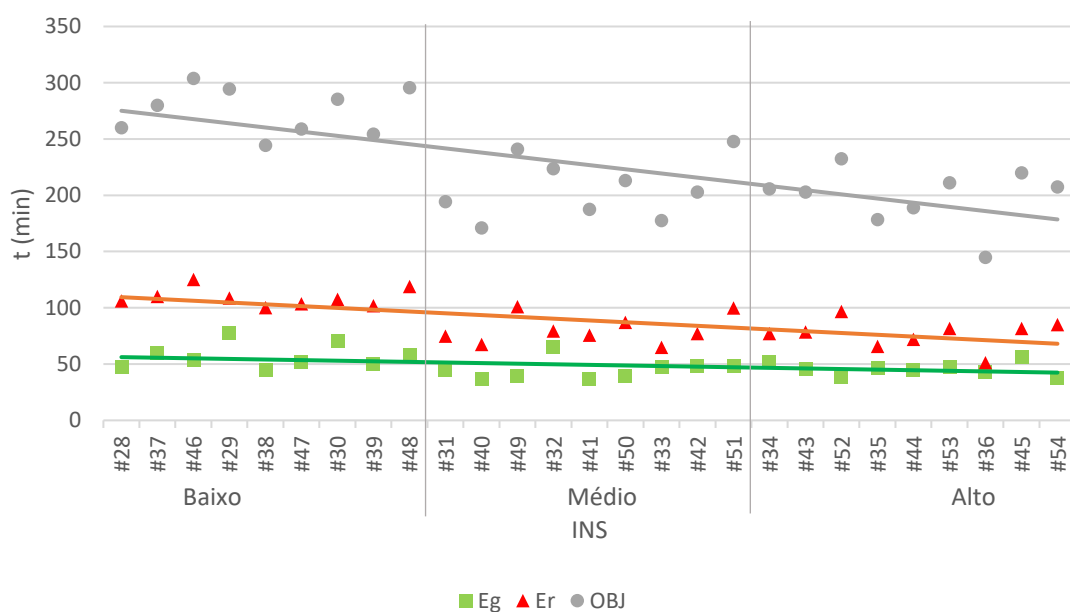


Gráfico 2 - Impacto da variação do "Número de Ambulâncias" para número "Médio" de chamados

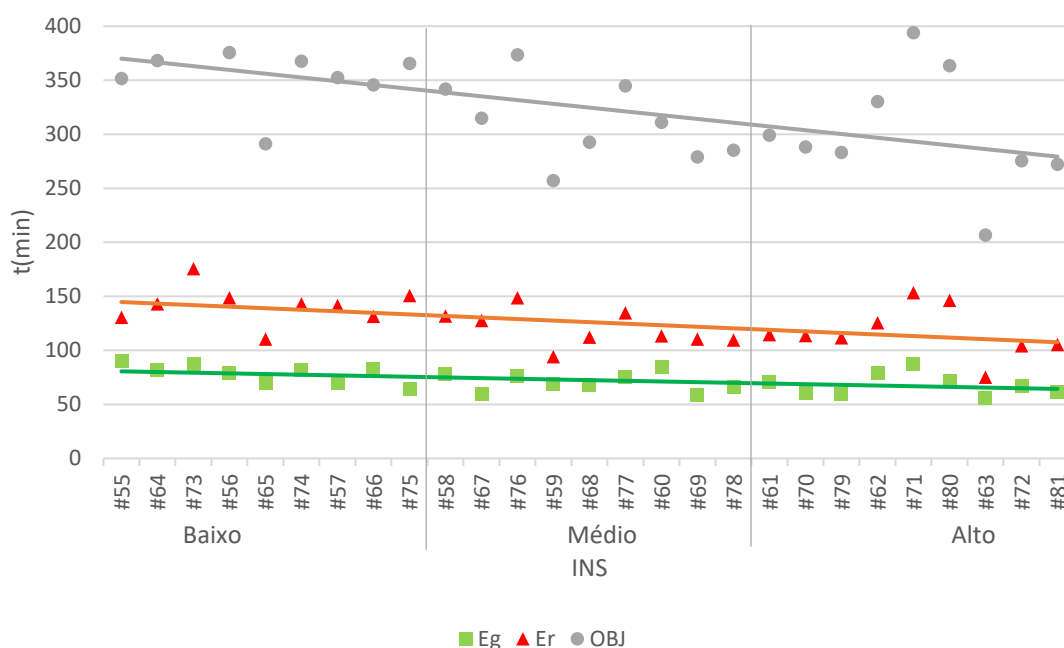


Gráfico 3 - Impacto da variação do "Número de Ambulâncias" para número "Alto" de chamados

Nos Gráficos 4, 5 e 6 foi feita a variação, consecutivamente, a proporção de chamados de Código Vermelho (R), o número de A e a proporção de CAP. É possível observar que, à medida que aumenta a proporção de R , os tempos de e_R tendem a aumentar, pois há maior necessidade de deslocamentos para atender esses chamados.

Por outro lado, o menor número de chamados de código verde causa uma pequena redução nos valores de e_G , isso se dá pela simples redução do número de pacientes desse grupo que necessitam atendimento, gerando menos deslocamentos e, por fim, menor tempo total para atender o grupo.

Analisando apenas o Gráfico 4, podemos perceber que os valores maiores de e_R e e_G são os primeiros valores de cada conjunto ("Baixo", "Médio" e "Alto"), acompanhando a mesma tendência de redução dos valores à medida que se aumenta o número de ambulâncias no sistema. A mesma tendência acontece para outros grupos apresentados nos Gráficos 5 e 6.

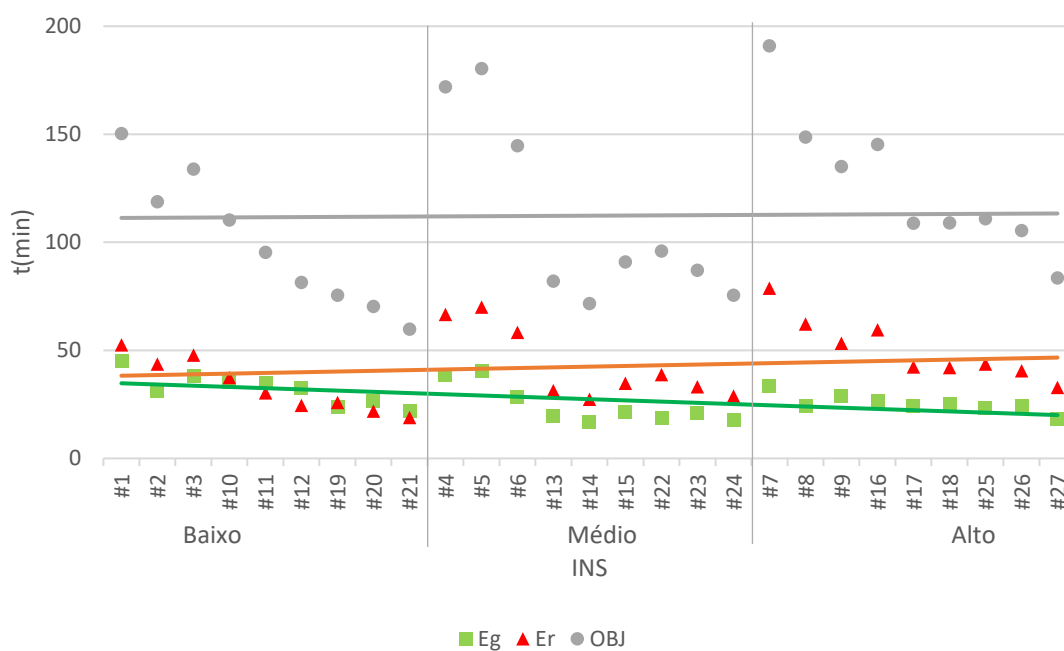


Gráfico 4 - Impacto da variação do "Proporção chamados código vermelho" para número "Baixo" de chamados

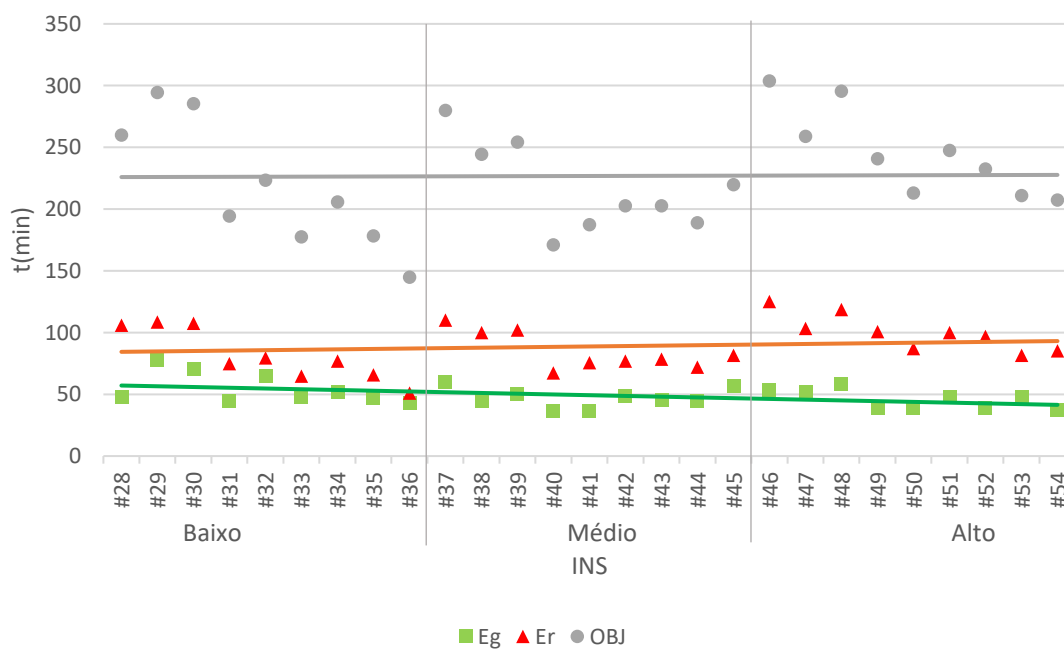
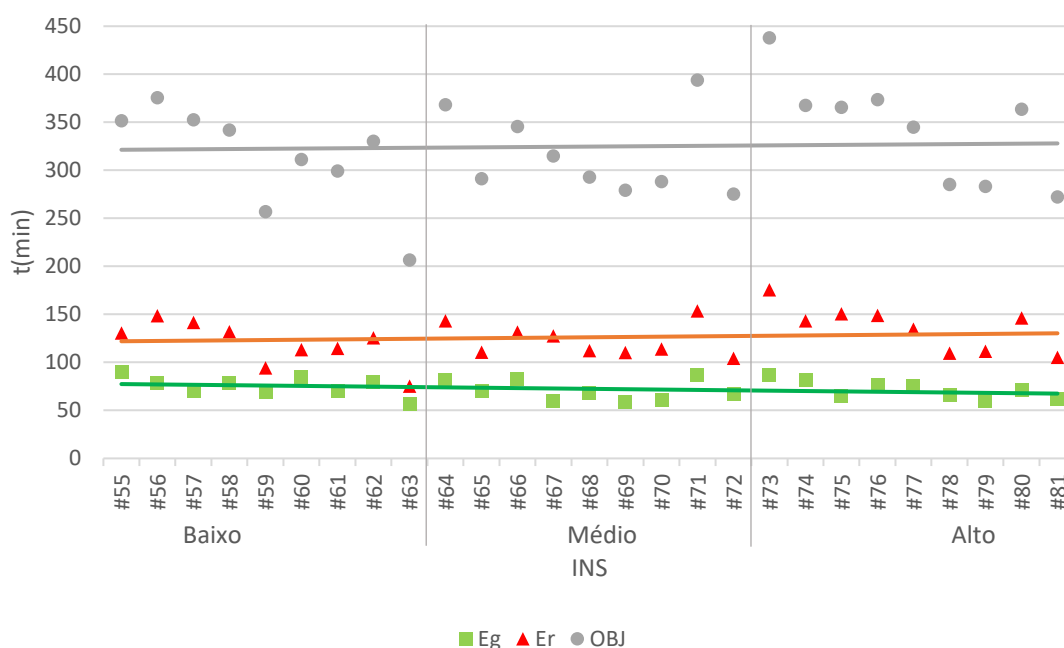


Gráfico 5 - Impacto da variação do "Proporção chamados código vermelho" para número "Médio" de chamados



Ao analisar o tempo computacional, a tendência foi de redução dos valores à medida que o número de chamados de código vermelho aumenta, mais pacientes são levados a hospitais e, conseqüentemente, menores as quantidades de chamados de código verde serão incluídas nas rotas das ambulâncias, reduzindo as quantidades de cálculos de rotas para esse chamado. O mesmo acontece para número "Médio" e "Alto" de chamados.

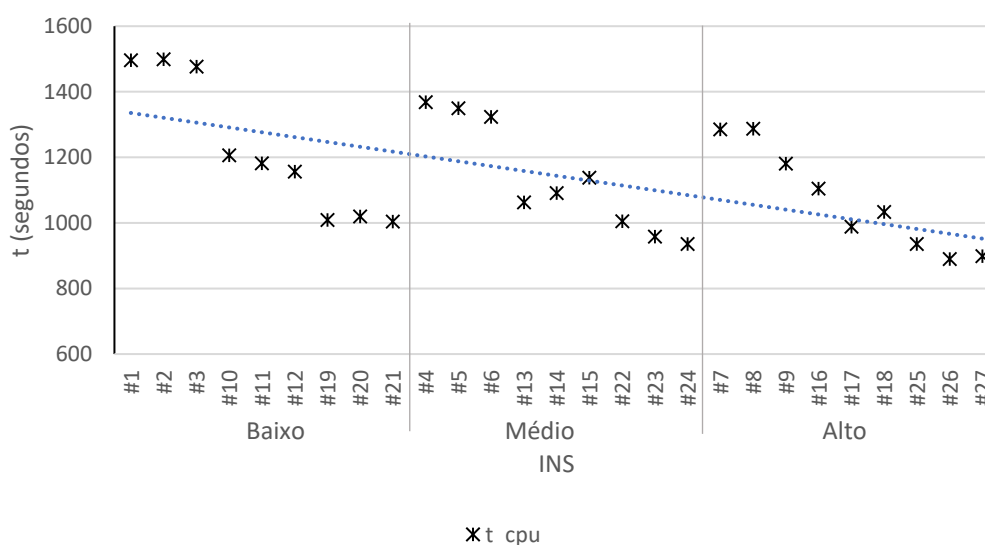


Gráfico 7 - Impacto da variação da "Proporção de chamados código vermelho" no tempo de execução do modelo para número "Baixo" de chamados

Os Gráficos 8, 9 e 10 representam os efeitos da proporção de ambulâncias capacitadas (CAP) no sistema, observou-se que a quando há um aumento dessa proporção, há um maior impacto positivo nos valores de e_R , resultante da maior disponibilidade de ambulâncias capacitadas no sistema e com a maior disponibilidade, os chamados de o código vermelho ganham maior cobertura de serviço, são atendidos mais prontamente.

Os valores de e_G também apresentam redução, porém de menor intensidade, pois à medida que as ambulâncias capacitadas ficam livres dos atendimentos prioritários dos chamados de código vermelho, elas atendem os demais chamados.

Quando observamos o Gráfico 10, a inclinação negativa na reta de tendência de e_G apresenta um coeficiente angular pequeno, ou seja, os valores não sofrem grandes reduções à medida que se aumenta a proporção de CAP no sistema. Para e_R , a inclinação negativa da reta de tendência, também apresenta um coeficiente angular pequeno, porém, maior do que e_G . Essa observação nos permite dizer que o aumentar a proporção de ambulância capacitadas no sistema gera um impacto positivo, porém, ele é menor do que o impacto obtido por outras variações de parâmetros.

A inclinação da reta de OBJ é maior devido aos pesos de w_R e w_G que afetam os valores finais.

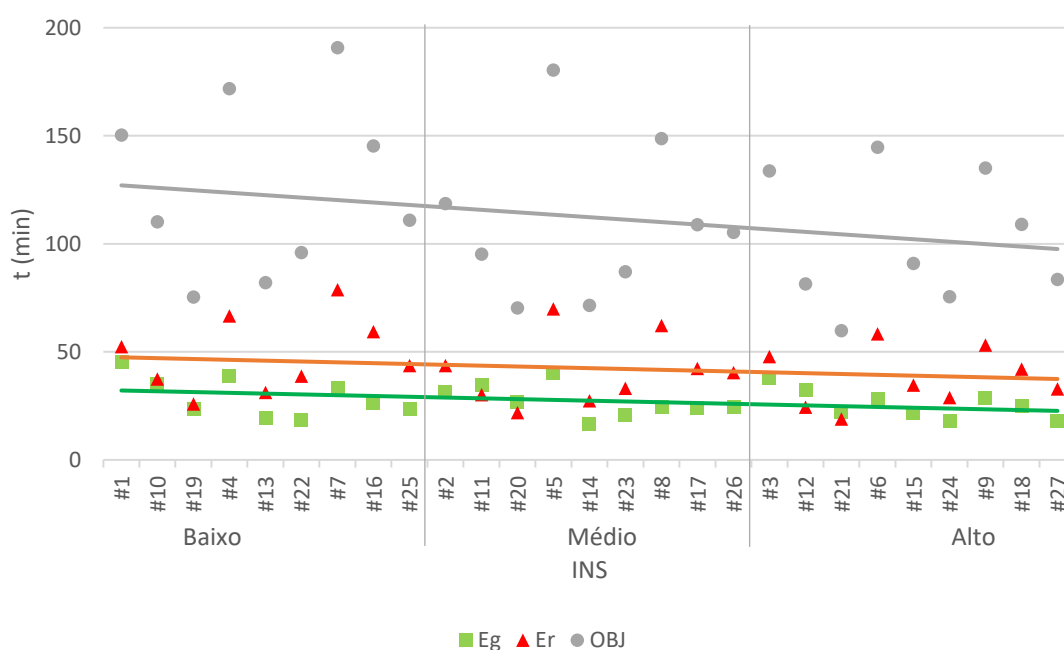


Gráfico 8 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" para número "Baixo" de chamados

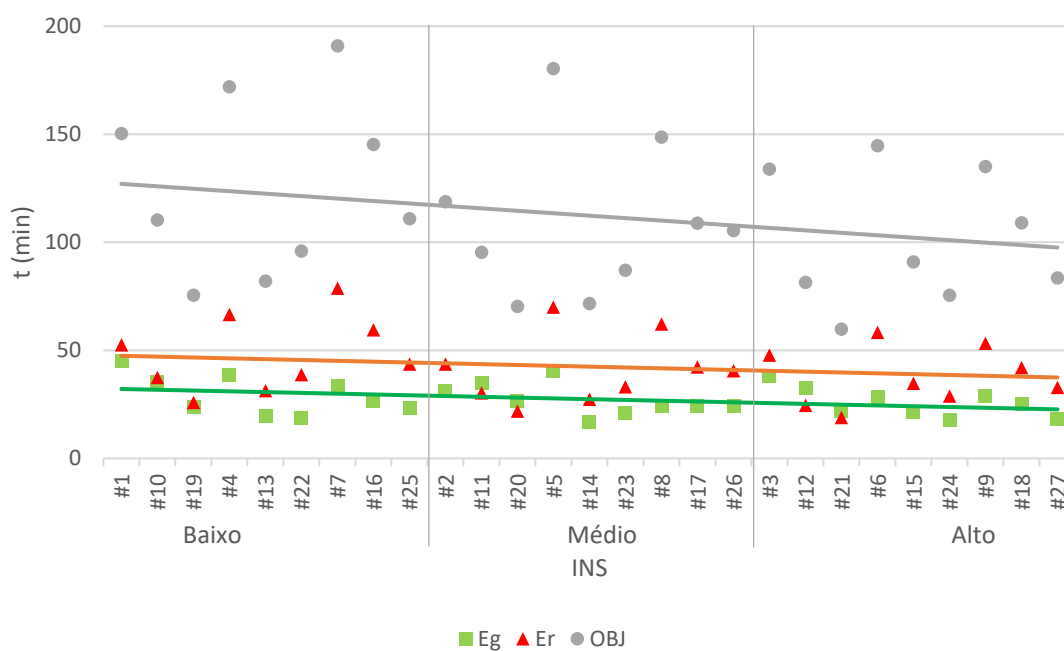


Gráfico 9 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" para número "Médio" de chamados

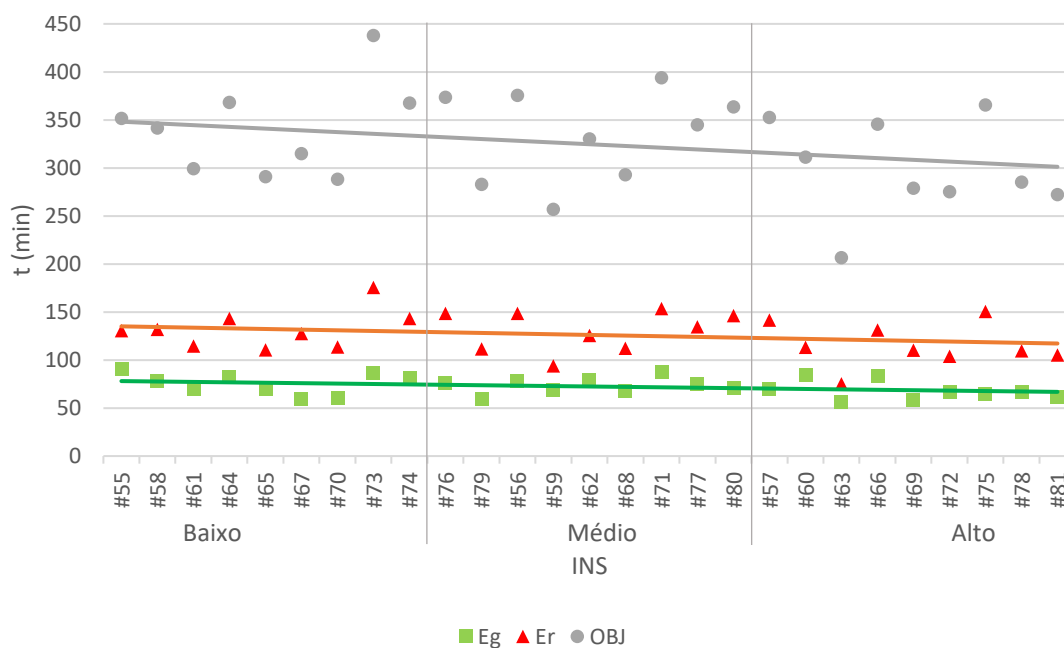


Gráfico 10 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" para número "Alto" de chamados

Em relação ao tempo computacional, os valores tendem a reduzir à medida que se aumenta a porcentagem de ambulâncias capacitadas. Isso pode ser explicado pela maior disponibilidade de ambulâncias que atendem o grupo de pacientes de código

vermelho, aumentando o número de rotas de ambulâncias que atendem esse grupo e, assim, reduzindo o número de restrições o que acaba por agilizar o processo de definição de um valor ótimo para o problema.

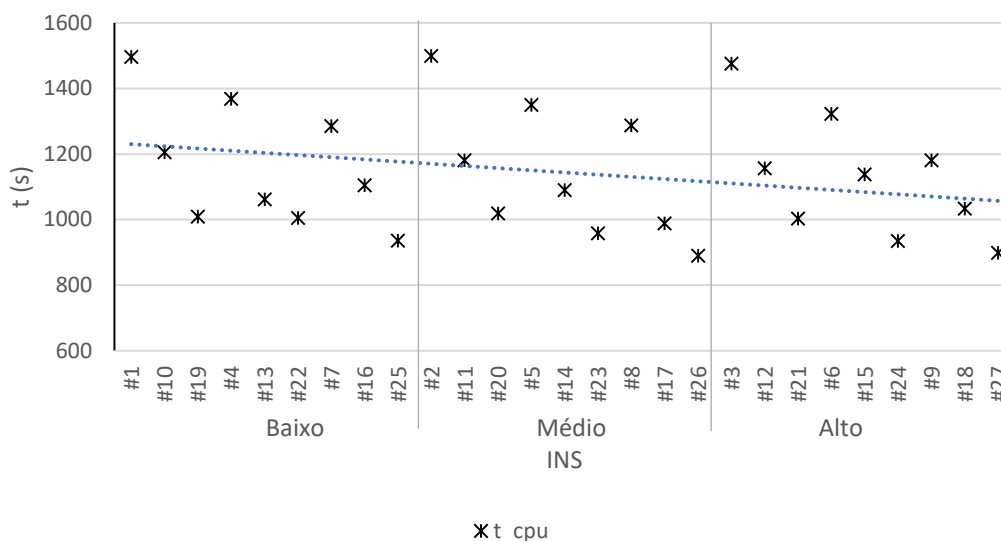


Gráfico 11 - Impacto da variação do "Proporção de ambulâncias capacitadas" no tempo de execução do modelo para número "Baixo" de chamados

Das três variações de parâmetros, podemos ressaltar que o aumento da quantidade de ambulâncias no sistema é a que maior impacta na redução dos valores, especialmente, de e_R para esses valores uma tendência mais acentuada de queda. Para e_G , há redução, porém de forma mais discreta. O mesmo acontece quando aumentamos o número de ambulâncias capacitadas, para e_R o aumento gera uma redução maior do que a redução de e_G .

Por outro lado, quando há um aumento do número de chamados código vermelho, e_R sofre um impacto negativo devido ao número maior desses chamados. Em e_G o impacto é positivo, a redução é mais relacionada com a redução do número de chamados código verde que devem ser atendidos do que pelo aumento da frota capacitada em si.

Por fim, podemos avaliar o impacto da variação da prioridade relativa dos chamados de código vermelho, conforme a tabela abaixo.

Tabela 33 - Resultados obtidos na execução das instâncias

P		$w_G = 1$ e $w_R = 2$				$w_G = 1$ e $w_R = 5$				$w_G = 1$ e $w_R = 10$			
		e_G (min)	e_R (min)	OBJ (min)	t_{cpu} (s)	e_G (min)	e_R (min)	OBJ (min)	t_{cpu} (s)	e_G (min)	e_R (min)	OBJ (min)	t_{cpu} (s)
Baixo	Limite Inferior	17	19	60	890	18	17	108	935	19	15	182	963
	Limite Superior	45	79	191	1499	50	69	383	1616	54	65	691	1729
	Média	25	40	107	1098	28	35	204	1191	30	32	351	1247
Médio	Limite Inferior	36	51	145	1246	40	42	258	1346	42	39	440	1386
	Limite Superior	77	125	304	2369	88	105	583	2535	96	99	1051	2636
	Média	48	83	216	1644	53	72	411	1746	57	68	730	1824
Alto	Limite Inferior	56	75	207	1371	64	62	376	1494	68	59	661	1552
	Limite Superior	90	176	438	2488	98	154	867	2711	104	147	1569	2901
	Média	70	126	322	1098	80	108	618	1191	85	101	1089	1247

O aumento da prioridade relativa dos chamados de código vermelho gerou um impacto positivo nos valores de e_R , notou-se uma redução de 20% na média desses valores. Em contrapartida, houve um acréscimo de 19% nos valores médios de e_G . Com ambulâncias atendendo com mais prioridade os chamados de código vermelho, os chamados de código vermelho necessitam de um tempo maior de espera para fim daqueles atendimentos.

A grande diferença nos valores médios de “OBJ” foi devido a formulação da função objetivo do modelo matemático, que foi uma soma ponderada entre os pesos (w_G e w_R) e os tempos de conclusão dos serviços (e_G e e_R), já explicitado no capítulo 4.

Em relação ao tempo despendido pelo *CPl* para apresentar os resultados (t_{cpu}), podemos que o maior tempo foi de 2901 segundos (aproximadamente 49 minutos). Esse valor foi resultante da instância #58 ($w_G = 1$ e $w_R = 10$) composta pela variação do número de chamados “Alto”, número de ambulâncias “Médio” e a proporção de pacientes código vermelho e de ambulâncias capacitadas “Baixo”. O menor valor foi de 890 segundos (aproximadamente 15 minutos), valor da instância #28 ($w_G = 1$ e $w_R = 2$), composta pela variação do número de chamados “Médio”, número de ambulâncias, proporção de pacientes código vermelho e de ambulâncias capacitadas “Baixo”.

Num serviço onde a rapidez é crucial, os tempos para execução do modelo se mostraram um ponto negativo. Os resultados mostram que para instâncias com menor número de elementos, o modelo entrega resultados mais rápido, à medida que se acresce elementos os tempos aumentam de forma que torna o modelo pouco eficaz. Uma maneira de atacar esse problema pode ser encontrada na utilização de heurísticas e metaheurísticas para auxiliar na obtenção de soluções iniciais mais próximas da ótima e executar o modelo a partir desse ponto. Podemos citar como heurísticas que podem auxiliar nessa redução como a *Large Neighborhood Search* (TALARICO *et al.*, 2015; FANCELLO *et al.*, 2017; e WEX *et al.*, 2014) ou *Tabu Search* (KERGOSIEN *et al.* 2011).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Aleatoriedade e incerteza são inerentes aos serviços de emergências médicas. Apesar da existência de rotinas definidas para atendimento é difícil prever quando surgirá algum chamado, se o caminho até o local está com trânsito livre ou completamente congestionado, complicações durante os procedimentos local. São muitos aspectos que devem ser analisados para tomar decisões, em um momento de tensão, que podem significar salvar a vida de uma pessoa.

Essa dissertação utilizou a técnica de modelagem matemática para tratar um dos aspectos operacionais nos serviços de emergências: a roteirização de ambulâncias. O modelo matemático de roteirização de ambulâncias proposto considera uma frota heterogênea e priorização de grupos de pacientes.

Para conceber o modelo, foi realizado uma extensa pesquisa bibliográfica sobre o tema, onde foi possível identificar quais eram as principais técnicas que estavam sendo utilizadas por diversos pesquisadores da área. Foi identificado onde estavam as lacunas, aspectos não abordados até então, sobre o tema. Esse aspecto que se buscou preencher foi justamente a heterogeneidade de frotas de ambulância. Foi identificado modelos na literatura que pudessem suportar o acréscimo deste aspecto e, assim, desenvolver o modelo apresentado nesta dissertação.

Para a execução do modelo, foram utilizados dados reais obtidos no Serviço de Atendimento Móvel de Urgência da Grande Vitória. Um grupo de instância refletia o serviço atual do serviço e as demais instâncias analisaram os impactos dos aumentos do número de chamados e da frota de ambulâncias; da variação da proporção de chamados prioritários e de ambulâncias capacitadas para atender grupo específico de chamados e, também, da mudança da importância relativa de chamados do grupo prioritário. Foi utilizado o *solver IBM® ILOG® CPLEX® Optimization Studio 12.7.1* para executar 243 instâncias resultantes dessas variações de parâmetros.

Com os resultados obtidos, foi possível avaliar a eficácia do modelo. Na medida que as instâncias representavam um aumento do número de chamados no serviço, foi possível observar um aumento no tempo de conclusão dos serviços para ambos os grupos de chamados. Ao avaliar aumento do número de ambulâncias e a proporção de ambulâncias capacitadas, houve uma significativa melhora nos tempos de

conclusão do grupo de chamados código vermelho e, apesar de menos significativa, também houve redução para o grupo de chamados código verde. Em contrapartida, o aumento da proporção de chamados de código vermelho acarretou uma piora nos tempos de conclusão do serviço desse grupo em, para os chamados de código verde o efeito foi contrário. Por fim, o aumento da importância relativa do grupo de chamados código vermelho gerou o efeito esperado, reduzindo o tempo de conclusão para esse grupo.

Em relação a eficácia do modelo, os resultados se mostraram pouco promissores. O modelo leva um tempo relativamente longo para apresentar os resultados, com valores variando entre 15 e 49 min. Por ser tratar de um serviço de emergência, rapidez é essencial para tomada de decisões, podemos afirmar que o método de solução do modelo não é adequado para esse fim, impossibilitando por exemplo que o modelo seja executado de maneira *on-line*, *i.e.*, na medida que os chamados chegam na central de regulação. Todavia, para execução como forma de planejamento e/ou simulação de operações, o método de solução pode ser adequado.

Com os dados disponíveis para execução das instâncias e as variações propostas de maneira a simular aumento na demanda e uma resposta operacional, os resultados ajudam a identificar qual impacto as variações têm no sistema, com isso, o modelo matemático pode auxiliar num primeiro momento, no planejamento operacional do serviço como por exemplo, avaliar as possíveis reduções nos tempos quando se planeja um incremento da frota. Possível, também, avaliar qual melhor proporção de ambulâncias do tipo “Unidades de Suporte Avançado” para melhor atender o sistema.

Portanto, o trabalho cumpriu com os objetivos que foram propostos, enriquecendo os estudos do Problema de Roteirização de Ambulâncias ao analisar um modelo de roteirização de frota heterogênea de ambulância com priorização de grupos de pacientes.

O modelo proposto se limitou a uma formulação de caráter estático, uma grande recomendação para trabalhos futuros é trabalhar o modelo para que possa funcionar de maneira dinâmica, recalculando as rotas à medida que novos chamados são incluídos. Outra recomendação é a utilização de algoritmos, heurísticas e

metaheurísticas auxiliar a resolução do modelo com intuito de torna-lo mais eficaz, retornando respostas de maneira mais rápida.

Trabalhos futuros poderiam incluir, também, considerações do impacto do trânsito no tempo de deslocamento dos veículos e diferentes pesos para cada chamado, de acordo com a gravidade relatada no atendimento inicial pelo médico regulador, antes do despacho da ambulância.

Por fim, vale destacar a importância desse trabalho para a população em geral que usa esse serviço de saúde pública, ao propor metodologia e ferramentas com objetivo de melhorar o serviço, estamos diretamente ajudando a salvar vidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARINGHIERI, R. et al. Emergency medical services and beyond: Addressing new challenges through a wide literature review. **Computers & Operations Research**, v. 78, p. 349-368, 2// 2017. ISSN 0305-0548. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054816302362> >.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01443570210414338> >.

BRASIL. **Lei Nº 9.503, de 23 de Setembro de 1997 - Institui o Código de Trânsito Brasileiro**. 1997.

_____. **Portaria nº 2.048 de 5 de Novembro de 2002**. Ministério da Saúde. 2002.

_____. **Censo Demográfico de 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010.

CUMMINS, R. et al. Sensitivity, accuracy, and safety of an automatic external defibrillator: report of a field evaluation. **The Lancet**, v. 324, n. 8398, p. 318-320, 1984. ISSN 0140-6736.

DA SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, 2005.

DATASUS. SAMU. Ministério da Saúde. 2010. Disponível em: < <http://datasus.saude.gov.br/projetos/52-samu> >.

DESTRI JUNIOR, J. **Sistema de apoio à decisão espacial aplicado ao serviço de atendimento móvel de urgência em vias de trânsito**. 2005. 186 (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

EKSIOGLU, B.; VURAL, A. V.; REISMAN, A. The vehicle routing problem: A taxonomic review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 57, n. 4, p. 1472-1483, 11// 2009. ISSN 0360-8352. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835209001405> >.

FANCELLO, G. et al. An emergency vehicles allocation model for major industrial disasters. **Transportation Research Procedia**, v. 25, p. 1164-1179, 2017. ISSN 2352-1465.

GARCIA, L. C. **Dimensionamento de recursos de atendimento móvel de urgência da região metropolitana II do estado do Rio de Janeiro**. 2006. 170 (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GENDREAU, M.; POTVIN, J.-Y. Dynamic Vehicle Routing and Dispatching. In: CRAINIC, T. G. e LAPORTE, G. (Ed.). **Fleet Management and Logistics**. Boston, MA: Springer US, 1998. p.115-126. ISBN 978-1-4615-5755-5.

GOOGLE. Distance Matrix API. 2017. Disponível em: < <https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/intro?hl=pt-br> >.

HAGHANI, A.; TIAN, Q.; HU, H. Simulation Model for Real-Time Emergency Vehicle Dispatching and Routing. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1882, p. 176-183, 2004/01/01 2004. ISSN 0361-1981. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.3141/1882-21> >. Acesso em: 2016/12/08.

JOTSHI, A.; GONG, Q.; BATTI, R. Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 43, n. 1, p. 1-24, 3// 2009. ISSN 0038-0121. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012108000165> >.

KERGOSIEN, Y. et al. A generic and flexible simulation-based analysis tool for EMS management. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 24, p. 7299-7316, 2015/12/17 2015. ISSN 0020-7543. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2015.1037405> >. Acesso em: 17 de Agosto de 2016.

_____. A tabu search heuristic for the dynamic transportation of patients between care units. **European Journal of Operational Research**, v. 214, n. 2, p. 442-452, 10/16/ 2011. ISSN 0377-2217. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221711003778> >.

LEO, G. et al. Emergency Department Management in Lazio, Italy. **Omega**, v. 58, p. 128-138, 1// 2016. ISSN 0305-0483. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048315001152> >.

MAPA, S. M. S. **Localização-alocação de instalações com Sistema de Informações Geográficas e modelagem matemática**. 2007. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

O'DWYER, G. et al. The current scenario of emergency care policies in Brazil. **BMC Health Services Research**, v. 13, n. 1, p. 70, February 20 2013. ISSN 1472-6963. Disponível em: < <https://doi.org/10.1186/1472-6963-13-70> >.

PINTO, L. R.; SILVA, P. M. S.; YOUNG, T. P. A generic method to develop simulation models for ambulance systems. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 51, p. 170-183, 2// 2015. ISSN 1569-190X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X14001889> >.

ESPÍRITO SANTO, **Plano Diretor de Regionalização da Saúde**. Governo do Estado do Espírito Santo: 65 p. 2011.

_____. Hospitais Estaduais do SUS. Secretaria de Saúde do Governo do estado do Espírito Santo 2015. Disponível em: < <https://www.es.gov.br/hospitais-estaduais-do-sus> >.

SILVA, P. M. S. **Análise do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (Samu) de Belo Horizonte Via Simulação e Otimização**. 2010. 134 Programa de PósGraduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TALARICO, L.; MEISEL, F.; SÖRENSEN, K. Ambulance routing for disaster response with patient groups. **Computers & Operations Research**, v. 56, p. 120-133, 4// 2015. ISSN 0305-0548. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054814003001> >.

TASCA, J. E. et al. An approach for selecting a theoretical framework for the evaluation of training programs. **Journal of European Industrial Training**, v. 34, n. 7, p. 631-655, 2010. Disponível em: < <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/03090591011070761> >.

TELES, A. S. et al. Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) do Estado da Bahia: subfinanciamento e desigualdade regional. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 25, p. 51-57, 2017. ISSN 1414-462X. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-462X2017000100051&nrm=iso >.

VALMORBIDA, S. M. I.; ENSSLIN, L. Construção de Conhecimento sobre Avaliação de Desempenho para Gestão Organizacional: uma Investigação nas Pesquisas Científicas Internacionais. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 13, n. 28, p. 123-148, 2016. ISSN 2175-8069. Disponível em: < <http://www.spell.org.br/documentos/ver/41919/construcao-de-conhecimento-sobre-avaliacao-de-desempenho-para-gestao-organizacional--uma-investigacao-nas-pesquisas-cientificas-internacionais> >.

VELLOSO, I. S. C.; ALVES, M.; DE SENA, R. R. Atendimento móvel de urgência como política pública de saúde. **Revista Mineira de Enfermagem**, v. 12, n. 4, p. 7, out./dez 2008 2008. ISSN 2316-9389. Disponível em: < <http://www.dx.doi.org/S1415-27622008000400015> >

VITÓRIA. **Regiões Administrativas de Vitória**. Prefeitura Municipa de Vitória. Secretaria de Gestão Estratégica. Gereência de Informações Municipais. 2014. Disponível em: < <http://legado.vitoria.es.gov.br/regionais/geral/administrativo.asp> >.

VITÓRIA. Casos de Urgência. Prefeitura de Vitória. Secretaria de Saúde. 2016. Disponível em: < <http://www.vitoria.es.gov.br/cidadao/casos-de-urgencia-pronto-atendimento> >.

WEX, F. et al. Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units. **European Journal of Operational Research**, v. 235, n. 3, p. 697-708, 6/16/ 2014. ISSN 0377-2217. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221713008527> >.

WILSON, D. T. et al. Evaluation of centralised and autonomous routing strategies in major incident response. **Safety Science**, v. 70, p. 80-88, 12// 2014. ISSN 0925-7535. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753514001052> >.

ZHANG, Z. et al. Performance measure for reliable travel time of emergency vehicles. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 65, p. 97-110, 4// 2016. ISSN 0968-090X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X16000346> >.

APÊNDICE A – CENÁRIOS DE EXECUÇÃO DO MODELOS

Ins	P	A	R	Cap	Ins	P	A	R	Cap	Ins	P	A	R	Cap
#1	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	#28	Médio	Baixo	Baixo	Baixo	#55	Alto	Baixo	Baixo	Baixo
#2	Baixo	Baixo	Baixo	Médio	#29	Médio	Baixo	Baixo	Médio	#56	Alto	Baixo	Baixo	Médio
#3	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	#30	Médio	Baixo	Baixo	Alto	#57	Alto	Baixo	Baixo	Alto
#4	Baixo	Baixo	Médio	Baixo	#31	Médio	Médio	Baixo	Baixo	#58	Alto	Médio	Baixo	Baixo
#5	Baixo	Baixo	Médio	Médio	#32	Médio	Médio	Baixo	Médio	#59	Alto	Médio	Baixo	Médio
#6	Baixo	Baixo	Médio	Alto	#33	Médio	Médio	Baixo	Alto	#60	Alto	Médio	Baixo	Alto
#7	Baixo	Baixo	Alto	Baixo	#34	Médio	Alto	Baixo	Baixo	#61	Alto	Alto	Baixo	Baixo
#8	Baixo	Baixo	Alto	Médio	#35	Médio	Alto	Baixo	Médio	#62	Alto	Alto	Baixo	Médio
#9	Baixo	Baixo	Alto	Alto	#36	Médio	Alto	Baixo	Alto	#63	Alto	Alto	Baixo	Alto
#10	Baixo	Médio	Baixo	Baixo	#37	Médio	Baixo	Médio	Baixo	#64	Alto	Baixo	Médio	Baixo
#11	Baixo	Médio	Baixo	Médio	#38	Médio	Baixo	Médio	Médio	#65	Alto	Baixo	Médio	Médio
#12	Baixo	Médio	Baixo	Alto	#39	Médio	Baixo	Médio	Alto	#66	Alto	Baixo	Médio	Alto
#13	Baixo	Médio	Médio	Baixo	#40	Médio	Médio	Médio	Baixo	#67	Alto	Médio	Médio	Baixo
#14	Baixo	Médio	Médio	Médio	#41	Médio	Médio	Médio	Médio	#68	Alto	Médio	Médio	Médio
#15	Baixo	Médio	Médio	Alto	#42	Médio	Médio	Médio	Alto	#69	Alto	Médio	Médio	Alto
#16	Baixo	Médio	Alto	Baixo	#43	Médio	Alto	Médio	Baixo	#70	Alto	Alto	Médio	Baixo
#17	Baixo	Médio	Alto	Médio	#44	Médio	Alto	Médio	Médio	#71	Alto	Alto	Médio	Médio
#18	Baixo	Médio	Alto	Alto	#45	Médio	Alto	Médio	Alto	#72	Alto	Alto	Médio	Alto
#19	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	#46	Médio	Baixo	Alto	Baixo	#73	Alto	Baixo	Alto	Baixo
#20	Baixo	Alto	Baixo	Médio	#47	Médio	Baixo	Alto	Médio	#74	Alto	Baixo	Alto	Médio
#21	Baixo	Alto	Baixo	Alto	#48	Médio	Baixo	Alto	Alto	#75	Alto	Baixo	Alto	Alto
#22	Baixo	Alto	Médio	Baixo	#49	Médio	Médio	Alto	Baixo	#76	Alto	Médio	Alto	Baixo
#23	Baixo	Alto	Médio	Médio	#50	Médio	Médio	Alto	Médio	#77	Alto	Médio	Alto	Médio
#24	Baixo	Alto	Médio	Alto	#51	Médio	Médio	Alto	Alto	#78	Alto	Médio	Alto	Alto
#25	Baixo	Alto	Alto	Baixo	#52	Médio	Alto	Alto	Baixo	#79	Alto	Alto	Alto	Baixo
#26	Baixo	Alto	Alto	Médio	#53	Médio	Alto	Alto	Médio	#80	Alto	Alto	Alto	Médio
#27	Baixo	Alto	Alto	Alto	#54	Médio	Alto	Alto	Alto	#81	Alto	Alto	Alto	Alto

APÊNCIDE B – RESULTADOS DOS CENÁRIOS

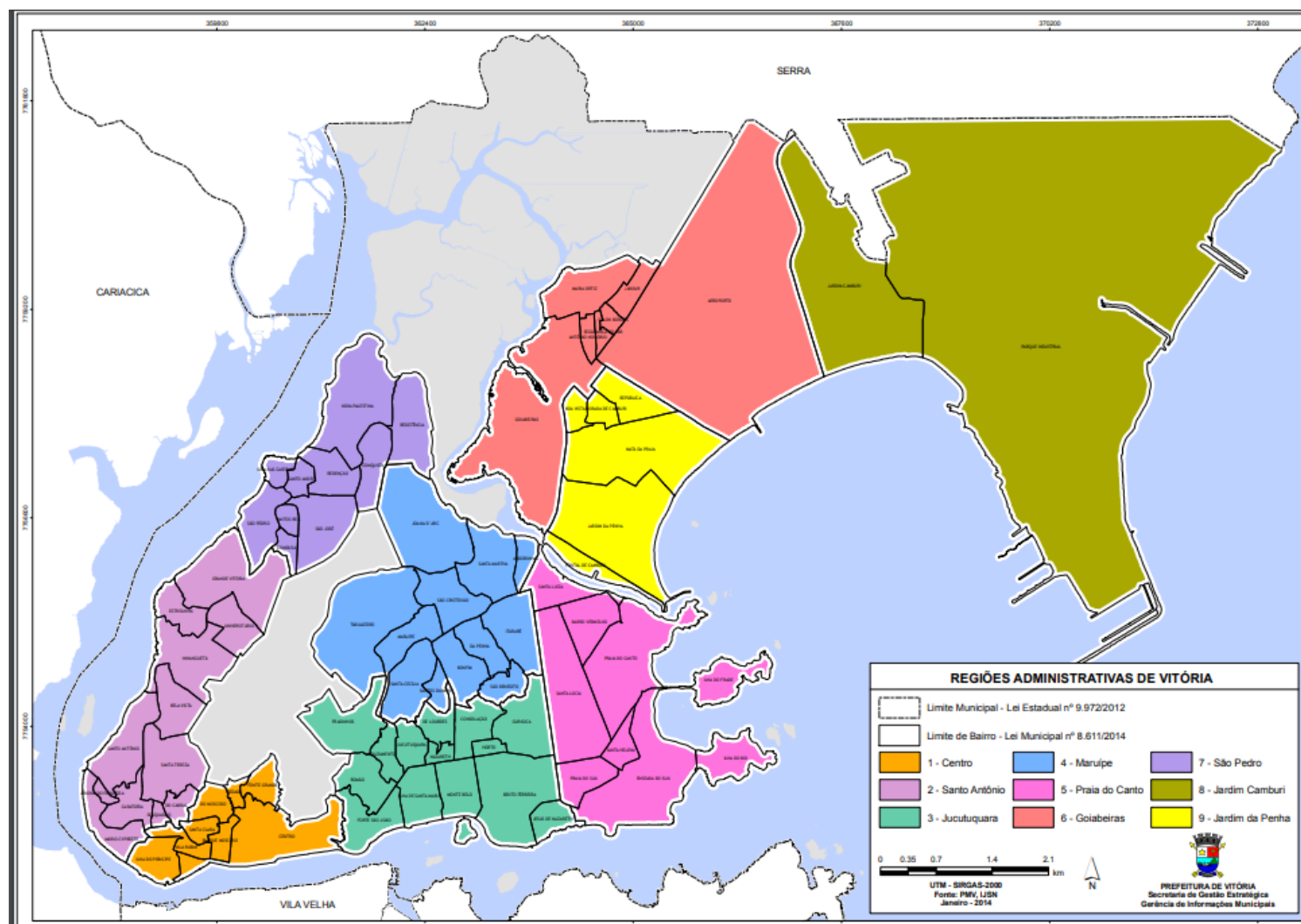
	$w_G = 1$ e $w_R = 2$				$w_G = 1$ e $w_R = 5$				$w_G = 1$ e $w_R = 10$			
In	Eg	Er	OBJ	CPU	Eg	Er	OBJ	CPU	Eg	Er	OBJ	CPU
#1	45	52	150	1496	50	45	273	1616	54	42	473	1729
#2	31	44	119	1499	34	38	222	1574	37	35	383	1653
#3	38	48	134	1476	43	41	247	1594	46	38	429	1706
#4	39	67	172	1368	42	57	328	1491	45	54	583	1581
#5	40	70	180	1350	46	59	340	1377	50	53	585	1418
#6	28	58	145	1323	32	50	280	1376	35	45	486	1458
#7	33	79	191	1285	37	69	383	1401	40	65	691	1457
#8	24	62	149	1287	27	52	285	1351	28	48	508	1432
#9	29	53	135	1181	33	47	267	1228	35	44	470	1302
#10	35	37	110	1206	40	33	204	1254	42	30	345	1304
#11	35	30	95	1181	40	25	167	1193	44	24	285	1253
#12	33	24	81	1157	36	21	139	1238	39	20	235	1275
#13	20	31	82	1062	22	27	158	1083	24	25	274	1159
#14	17	27	72	1091	18	23	134	1189	19	22	240	1272
#15	22	35	91	1138	25	29	169	1240	27	26	289	1327
#16	27	59	145	1105	30	52	289	1204	33	48	509	1240
#17	24	42	109	988	27	36	204	1028	29	34	367	1059
#18	25	42	109	1033	28	37	212	1044	29	34	373	1096
#19	24	26	75	1009	26	22	135	1060	28	20	228	1091
#20	27	22	70	1019	30	19	126	1029	33	18	211	1060
#21	22	19	60	1004	25	17	108	1084	27	15	182	1116
#22	19	39	96	1005	20	34	191	1045	22	31	335	1077
#23	21	33	87	958	24	27	161	1006	26	26	281	1046
#24	18	29	75	935	20	25	146	954	21	23	251	1002
#25	24	44	111	936	27	37	212	1011	28	35	381	1061
#26	24	40	105	890	28	36	206	961	30	33	358	1019
#27	18	33	84	899	20	28	161	935	22	27	287	963
#28	48	106	260	2185	54	91	509	2360	58	86	915	2454
#29	77	109	294	2369	88	91	544	2535	96	87	962	2636
#30	71	107	285	2081	81	90	532	2123	88	83	917	2186
#31	44	75	194	1806	50	63	365	1914	53	58	638	2010
#32	65	79	223	1823	70	67	407	1914	74	62	695	2028
#33	48	65	177	1865	55	57	340	2033	58	52	583	2135
#34	52	77	206	1876	59	64	378	2027	62	61	670	2108
#35	47	66	178	1737	53	57	339	1772	57	54	600	1843
#36	43	51	145	1736	47	42	258	1823	50	39	440	1895
#37	60	110	280	1785	65	97	549	1874	70	92	989	1967
#38	44	100	244	1831	50	83	465	1886	55	79	843	2018
#39	50	102	254	1666	57	90	506	1782	61	85	913	1854
#40	36	67	171	1540	41	58	333	1648	44	53	576	1747

continua...

...continuação

In	$w_G = 1$ e $w_R = 2$				$w_G = 1$ e $w_R = 5$				$w_G = 1$ e $w_R = 10$			
	Eg	Er	OBJ	CPU	Eg	Er	OBJ	CPU	Eg	Er	OBJ	CPU
#41	36	75	187	1745	40	63	357	1815	42	59	632	1924
#42	49	77	203	1593	53	68	392	1657	57	62	674	1773
#43	46	78	203	1679	51	67	385	1797	54	62	674	1905
#44	45	72	189	1552	51	63	364	1614	55	60	650	1711
#45	57	82	220	1622	62	68	400	1719	66	64	709	1805
#46	54	125	304	1332	58	105	583	1412	63	99	1051	1468
#47	52	103	259	1621	59	89	503	1653	63	83	890	1752
#48	58	119	295	1455	64	102	574	1484	70	96	1029	1559
#49	39	101	241	1598	44	84	463	1646	47	79	842	1695
#50	39	87	213	1457	45	75	419	1500	49	69	736	1605
#51	48	100	248	1309	52	85	476	1414	55	81	861	1485
#52	39	97	232	1404	42	81	449	1516	46	76	810	1577
#53	48	82	211	1246	52	70	403	1346	56	67	723	1386
#54	37	85	207	1375	41	75	415	1402	43	70	747	1500
#55	90	131	351	2294	98	112	659	2455	104	104	1149	2528
#56	79	148	375	2488	89	129	735	2711	95	123	1322	2901
#57	70	141	352	2185	80	122	688	2360	86	112	1204	2478
#58	78	132	342	2041	85	112	645	2102	92	103	1122	2186
#59	69	94	257	2041	76	82	485	2225	82	77	851	2358
#60	85	113	311	1996	93	99	586	2096	100	90	997	2201
#61	70	114	299	2158	79	100	577	2223	85	92	1001	2378
#62	79	125	330	1981	87	109	633	2060	95	99	1088	2142
#63	56	75	207	1875	64	62	376	1950	68	59	661	2028
#64	82	143	368	1981	94	119	688	2020	102	108	1182	2162
#65	70	110	291	1995	78	95	553	2115	84	87	958	2263
#66	83	131	346	1865	94	109	639	1940	103	104	1138	2076
#67	60	127	315	1632	67	107	602	1649	73	102	1090	1698
#68	68	112	293	1989	75	99	569	2109	80	91	988	2256
#69	59	110	279	1816	64	94	532	1834	68	88	948	1944
#70	61	114	288	1881	68	94	540	1994	74	88	951	2054
#71	87	153	394	1660	96	132	755	1810	103	124	1342	1900
#72	67	104	275	1784	75	88	517	1856	81	80	886	1986
#73	87	176	438	1492	95	154	867	1507	101	147	1569	1552
#74	81	143	368	1831	92	119	686	1978	98	109	1191	2116
#75	64	151	366	1528	72	126	704	1589	77	118	1253	1637
#76	76	149	373	1790	87	128	726	1933	93	120	1295	2049
#77	76	135	345	1544	86	117	671	1683	91	110	1192	1784
#78	66	109	285	1401	72	91	526	1513	77	83	904	1589
#79	60	112	283	1502	65	98	556	1637	69	89	963	1752
#80	71	146	363	1371	82	123	696	1494	87	112	1204	1569
#81	58	101	260	1581	65	85	488	1613	71	80	875	1677

ANEXO A – REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA



Fonte: Vitória (2014)